



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E COBERTURA DE INVERNO SOBRE A
DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E OS COMPONENTES DE RENDIMENTO DO
MILHO**

Ponta Grossa

Junho/2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E COBERTURA DE INVERNO SOBRE A
DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E OS COMPONENTES DE RENDIMENTO DO
MILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia, na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Agricultura, Linha de Pesquisa: Fisiologia, Manejo e Melhoramento de Culturas.

Orientador – Prof. Dr. André Belmont Pereira

Coorientador – Prof. Dr. Luiz Fernando Pires

Ponta Grossa

Junho/2017

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Schiebelbein, Luis Miguel

S232 Atributos físicos do solo e cobertura
de inverno sobre a disponibilidade de água
e os componentes de rendimento do milho/
Luis Miguel Schiebelbein. Ponta Grossa,
2017.
235f.

Tese (Doutorado em Agronomia - Área de
Concentração: Agricultura), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. André Belmont
Pereira.

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fernando
Pires.

1.Balanço hídrico. 2.Atributos físicos
do solo. 3.Produtividade. 4.Água no solo.
5.Cobertura de inverno. I.Pereira, André
Belmont. II. Pires, Luiz Fernando. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Doutorado em Agronomia. IV. T.

CDD: 633.15



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Tese: **“Atributos físicos do solo e cobertura de inverno sobre a disponibilidade de água e os componentes de rendimento do milho”.**

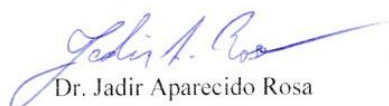
Nome: Luis Miguel Schiebelbein

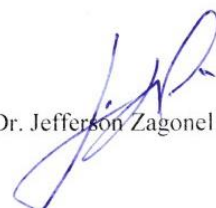

Orientador: André Belmont Pereira

Aprovado pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. André Belmont Pereira


Prof. Dr. Paulo César Sentelhas


Dr. Jadir Aparecido Rosa


Prof. Dr. Jefferson Zagonel


Prof. Dr. Helio Antonio Wood Joris

Data da Realização: 13 de junho 2017.

DEDICATÓRIA

A minha eterna amada avó Algemira, minha segunda mãe, hoje mais um Anjo no Céu, mas que continua zelando por mim,

Dedico

AGRADECIMENTO

A Deus, **O** qual me concedeu o dom da vida, e tem comigo estado em todos os momentos dela, me protegendo e guiando, a cada passo que dou.

A minha amada mãe Alais, mulher indescritível, sem a qual eu nada seria, que desde os meus primeiros passos na vida estudantil me guiou, sendo mais do que minha primeira professora, me ensinando a importância da humildade, da perseverança e do conhecimento, e o valor que devemos dar a todos que ao nosso lado estão em cada etapa de nossa vida.

Ao meu pai Edmilson, que me mostrou que o caminho da docência é algo gratificante e o quão maravilhoso pode ser a nossa realização pessoal no sucesso daqueles a quem ajudamos a formar.

A minha família, que soube compreender os meus momentos de ausência, mantendo-se ao meu lado e me apoiando a cada etapa.

Aos meu orientador Professor Dr. André Belmont Pereira e coorientador Professor Dr. Luiz Fernando Pires, que corajosamente abraçaram a causa de me conduzir em minha formação e aprimoramento na pesquisa.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Agricultura, Linha de Pesquisa: Fisiologia, Manejo e Melhoramento de Culturas, pela estrutura e possibilidade de ampliação de conhecimentos, de formação e capacitação.

Aos Professores Dr. Paulo Cesar Sentelhas (ESALQ/USP), Dr. Jeferson Zagonel (UEPG), Dr. Hélio Antonio Wood Joris (UEPG) e Dr. Jadir Rosas (IAPAR), pelo auxílio na avaliação e pelas valiosas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Aos grandes amigos André Carlos Auler, Jaqueline Ribaski Borges, Jean Ricardo Olinik, Jaime Alberti Gomes, Charles Hobi Zimmer, Anderson Camargo, pelo apoio em todos os momentos em que foi necessário, mostrando-me mais uma vez que o sucesso é o resultado de nossas batalhas, mas que tem um sabor ainda mais doce quando compartilhado com aqueles que tanto prezamos.

Ao Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais - CESCAGE, e toda sua equipe, que me proporcionou as condições de realização dos meus ensaios a campo.

Aos meus amigos, alunos e orientados do Curso de Agronomia do CESCAGE, sem a colaboração dos quais por certo esta caminhada seria muito mais árdua.

Ao Instituto Agrônômico do Paraná, especificamente na pessoa do Dr. Jadir Rosas, que gentilmente permitiu a condução de parte das pesquisas em suas instalações.

A todos aqueles que de maneira direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho, igualmente, os meus sinceros agradecimentos.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

Culturas como o milho são altamente influenciadas pelo sistema de manejo e cobertura do solo, época de semeadura e pelas condições meteorológicas locais durante o seu ciclo. A interação entre estes fatores resultará no acúmulo de matéria seca pela cultura que será revertido em produtividade. Na avaliação do efeito de diferentes densidades populacionais de plantas, coberturas de inverno e épocas de semeadura sobre a disponibilidade de água no solo condicionada pelos atributos físicos do solo e os componentes de rendimento da cultura do milho, conduziu-se um ensaio nas safras 2014/2015 e 2015/2016 no município de Ponta Grossa, PR, utilizando-se como híbrido o P30F53YH. O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas, repetidas em três épocas de semeadura (15 de setembro, 30 de outubro e 15 de dezembro), constando de coberturas de inverno nas parcelas (palhada de aveia, pousio e solo nu) e de cinco populações de plantas (40.000, 60.000, 80.000, 100.000 e 120.000 plantas ha⁻¹) nas subparcelas. Foram avaliadas características morfológicas da planta (altura de planta, diâmetro de colmo, altura de inserção de espiga, número de folhas, área foliar e índice de área foliar), além dos componentes de rendimento (número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e massa de espiga) e produtividade, em quatro plantas por subparcela. Foi realizado o balanço hídrico sequencial para as duas safras em estudo. O solo da área foi caracterizado, tendo sido determinada a sua densidade global, textura e ajustando-se para as profundidades de 0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m, 0,20 a 0,30 m, 0,30 a 0,40 e 0,40 a 1,0 m as curvas de retenção de água pelo modelo proposto por van Genuchten (1980). A partir destes atributos, determinou-se a distribuição da porosidade total do solo e a sua classificação quanto à função. Utilizaram-se métodos de estatística multivariada na análise das informações, objetivando a obtenção de respostas globais a partir das variáveis levantadas. Foi ajustado um modelo senoidal de crescimento de plantas, o qual demonstrou alta correlação com o regime vigente dos elementos meteorológicos locais, permitindo a determinação do ponto de inflexão da taxa de crescimento da planta em altura e a sua relação com a temperatura, a radiação solar global, a disponibilidade de água no solo e o saldo de radiação. Não foram observados períodos de estiagem durante as duas safras. Não se observou efeito das diferentes coberturas de solo sobre o crescimento das plantas e produtividade. A produtividade final e os demais parâmetros morfológicos obtidos encontraram-se dentro do padrão esperado para o híbrido. As populações de plantas afetaram a produtividade, tendo sido crescente até a população de 120.000 plantas ha⁻¹, sob as quais também foi encontrado o maior índice de área foliar. O solo era homogêneo em toda área de cultivo não se constatando efeito de cobertura de solo sobre os componentes de rendimento e a produtividade final da cultura. Houve efeito interativo entre épocas de semeadura, população de plantas e cobertura do solo para as semeaduras realizadas em 30 de outubro e 15 de dezembro (2014/2015) e para 15 de setembro (2015/2016) sobre a produtividade do milho. As produtividades e os demais parâmetros morfológicos obtidos foram expressos na localidade estudada em decorrência do potencial genético do híbrido de milho.

Palavras-chave: Balanço hídrico. Atributos físicos do solo. Produtividade. Água no solo. Cobertura de inverno. Época de semeadura. Densidade de plantas. *Zea mays* L.

ABSTRACT

Crops such corn (*Zea mays* L.) are highly influenced by the management practices, soil coverings, sowing dates and local meteorological conditions throughout the crop growing season at a given site. The interaction among such factors will result in dry matter accumulation by the crop that will in turn be converted into productivity. At the assessment of the effects of different planting populations, winter coverings and sowing dates on soil water availability conditioned by the soil physical attributes, as well as on the yield components of the crop, a field trial was carried out at the years of 2014/2015 and 2015/2016 in Ponta Grossa, State of Paraná, Brazil, with P30F53YH as the genotype considered herein. The experimental design was a split plot scheme repeated over three sowing dates (September 15, October 30, and December 15), taking into account three different winter coverings (oat straw, fallow, and bare soil) and five planting populations (40,000; 60,000; 80,000; 100,000 and 120,000 plants ha⁻¹) in the split plots. Morphological features of the plants (plant height, stalk diameter, insertion height of ears, number of leaves, leaf area, and leaf area index) along with yield components (number of rows per ear, number of grains per row, a thousand mass of grains, and mass of ears) plus yield in four plants per split plot were evaluated in the current study. Sequential water balances were performed throughout two crop growing seasons. The soil of the experimental area was characterized, having the soil bulk density and texture been determined and adjusting for the soil layers 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30, 0.30-0.40, and 0.40-0.50 m water retention curves by the model proposed by van Genuchten (1980). From such physical attributes of the soil the distribution of soil total porosity and its classification regarding a more fitting mathematical function were determined. Multivariate statistical methods were used at the analyses of information in order to search for global responses from the studied variables. A sinusoidal model of crop growing was adjusted, which showed a high correlation with the regime of local meteorological elements, allowing therefore for the determination of inflexion points of plant growth rates in height and its relationship with temperature, global solar radiation, soil water availability and net radiation. Significant periods of draught over the course of the crop growing seasons were not observed. Moreover, effects of different soil coverings on corn growing and yield were not detected as well. The final yield and all morphological features of the crop obtained were found to be within the expected standard for the genotype of corn in study. Planting populations affected yield, with increasing values up to planting populations over 120,000 plants ha⁻¹, under which the highest leaf area indices were found. The soil was homogeneous at the entire experimental area and no effect of soil covering on yield components and crop final productivity was identified at all. An interactive effect of sowing dates, planting populations and soil coverings for the sowing dates of October 30 and December 15 (2014/2015) and also for September 15 (2015/2016) on corn yield was observed. Biological yield along with all morphological parameters of the plants were expressed as a result of the genetic potential of the corn genotype at the studied site.

Keywords: Water balance. Soil physical attributes. Yield. Soil water. Winter covering. Sowing date. Planting population. *Zea mays* L.

Lista de Figuras

Figura 1 – Variações da constante solar (Irradiância Solar Total - Total Solar Irradiance – TSI) ao longo dos anos. (Adaptado de (SOLANKI; KRIVOVA; HAIGH, 2013))	33
Figura 2 - Variações da radiação solar – extraterrestre e terrestre. Adaptado de (AHMAD; TIWARI, 2011).	34
Figura 3 - Variação da eficiência de conversão da energia solar em função da radiação solar incidente (Adaptado de (ZHU; LONG; ORT, 2010)).....	36
Figura 4 - Perdas de energia dentro do dossel, mostrando a porcentagem restante (dentro de setas) e o percentual de perdas (à direita) de energia disponível para a fotossíntese em plantas C ₃ e C ₄ . Os percentuais discriminados acima assumem uma temperatura da folha de 30°C e uma concentração de CO ₂ atmosférico de 387 ppm. A eficiência de conversão de energia fotossintética máxima teórica é de 4,6% para plantas C ₃ e 6% para C ₄ . Esses valores são para o espectro total da radiação solar. Se a análise é considerada como sendo limitada à radiação fotossinteticamente ativa (400–700 nm), então esses valores se tornam 9,4% para C ₃ e 12,3% para C ₄ (Adaptado de (ZHU; LONG; ORT, 2010)).....	37
Figura 5: Etapas e atividades na condução do ensaio nas safras 2014/2015 e 2015/2016.	69
Figura 6: Indicativo de amostragem de solo: distribuição das amostras nas diferentes camadas (A); visão geral do anel de amostragem (B) (www.soilcontrol.com.br).	69
Figura 7 - Principais características do híbrido 30F53YH (www.pioneersementes.com.br).	70
Figura 8 – Representação esquemática de parcela, subparcela e blocos para ensaio de campo.....	71
Figura 9 – Representação esquemática de parcela, subparcela e blocos para ensaio de campo.....	72
Figura 10 – Estádios fenológicos da cultura do milho.	74
Figura 11 - Efeito das variações dos fatores α e f no modelo proposto de crescimento das plantas de milho.	79
Figura 12 - Valores médios de largura e comprimento de folhas das plantas de milho sob diferentes populações do híbrido P30F53YH durante o estágio fenológico de floração (R1 – R3).	81
Figura 13 – Representação esquemática de uma folha de milho, considerando o comprimento e a largura no procedimento de cálculo da área foliar. PEREIRA (1987).	81
Figura 14 - Variação do comprimento (C - cm) e largura (L – cm) da folha do milho em função da população de plantas do híbrido P30F53YH.....	82
Figura 15 - Efeito da posição da folha na planta sobre o comprimento (cm) e largura (cm), determinados no período de antese, para o híbrido P30F53YH.	83

Figura 16 - Variação da área total das folhas das plantas de milho ($S - m^2$) em função da população de plantas para o híbrido P30F53YH	84
Figura 17 - Área das folhas (m^2) em relação a sua posição na planta para o híbrido P30F53YH.....	85
Figura 18 - Relação entre a área foliar real (S) (cm^2) e o produto entre comprimento (C) e largura (L) da folha do milho, cultivar P30F53 YH, pelo modelo proposto por Montgomery (1911) (A), pela relação entre área foliar real e o produto LC (B) e pelo modelo ajustado ($k=0,649$) (C).	86
Figura 19 - Distribuição dos resíduos da área foliar (cm^2) estimada pela função proposta por Montgomery (1911) ($k=0,649$), para o híbrido P30F53YH.	87
Figura 20 - Variação do índice de área foliar do milho (IAF) em função da população de plantas.....	88
Figura 21 - Relação entre área da folha da espiga (SFE – m^2) e a área total da planta ($S - m^2$) para o híbrido P30F53YH durante o estágio de floração do milho (R1 a R3).	90
Figura 22 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (A – I – 1).	94
Figura 23 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (B – I – 2).	94
Figura 24 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (C – I – 3).	95
Figura 25 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (D – II – 1).	95
Figura 26 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (E – II – 2).	96
Figura 27 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (F – II – 3).	96
Figura 28 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (G – III – 1).	97
Figura 29 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (H – III – 2).	97

Figura 30 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (I – III – 3).....	98
Figura 31 - Variação do diâmetro mais frequente de poros (mm) em função da profundidade e a sua classificação relativa em função do volume de água armazenado, de acordo com a curva de retenção ajustada segundo o modelo proposto por van Genuchten (1980).....	99
Figura 32 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (TP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.	100
Figura 33 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (SP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.	100
Figura 34 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (RP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.	101
Figura 35 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (BP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.	101
Figura 36 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas A, da safra 2014/2015.	123
Figura 37 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas B, da safra 2014/2015.....	123
Figura 38 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas C, da safra 2014/2015.....	124
Figura 39 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas A, da safra 2015/2016.	124
Figura 40 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas B, da safra 2015/2016.....	125
Figura 41 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas C, da safra 2015/2016.....	125
Figura 42 - Variação do número médio de grãos por fileira em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2014/2015.	129
Figura 43 - Variação da massa de mil grãos em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2014/2015.	129
Figura 44 - Variação da massa de grãos na espiga em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2014/2015.	130
Figura 45 - Variação da altura de planta e em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	131
Figura 46 - Variação da altura de inserção da espiga em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	131

Figura 47 - Variação da altura de planta e da altura de inserção da espiga em função da população de plantas por hectare e da cobertura do solo (PD – palha de aveia, PO – plantas voluntárias, SN – solo nu) para a época A da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	132
Figura 48 - Variação do diâmetro de sabugo em função da cobertura do solo (PD – palha de aveia, PO – plantas voluntárias, SN – solo nu) para a época C da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	133
Figura 49 - Regime de temperatura durante o período de realização do ensaio (2014 a 2016). Ponta Grossa, PR.....	139
Figura 50 – Precipitação pluvial (mm) durante o período de realização do ensaio. Ponta Grossa, PR.	140
Figura 51 - Umidade relativa do ar (%) média, mínima e máxima para o período de realização do ensaio. Ponta Grossa, PR.....	140
Figura 52 - Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração potencial (ETp) para a safra 2014/2015. ..	141
Figura 53 - Balanço hídrico sequencial para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	141
Figura 54 - Precipitação pluvial (P), Evapotranspiração potencial (ETp) e Evapotranspiração real (ETR) para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	142
Figura 55 – Precipitação pluvial (P) e evapotranspiração potencial (ETp) para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	142
Figura 56 - Balanço hídrico sequencial para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	143
Figura 57 – Precipitação pluvial (P), evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração real (ETR) para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	143
Figura 58 - Variação das temperaturas médias diárias no ano de 2014. Ponta Grossa, PR.	145
Figura 59 - Variação das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias no ano de 2015. Ponta Grossa, PR.....	145
Figura 60 - Variação das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias no ano de 2016. Ponta Grossa, PR.....	146
Figura 61 - Temperaturas máximas e mínimas noturnas do ar entre 18h00 e 6h00 para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.....	146
Figura 62 - Temperaturas máximas e mínimas noturnas do ar entre 18h00 e 6h00 para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	147
Figura 63 - Número médio de folhas das plantas de milho no florescimento para as épocas de semeadura (A – 15/09, B – 30/10, C – 15/12) na safra agrícola de 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	148
Figura 64 – Regime de temperatura mínima, média e máxima em Ponta Grossa – PR (dados diários do período entre 2010 e 2016). (Fonte: SIMEPAR)	186

Figura 65 - Regime de umidade relativa do ar mínima, média e máxima em Ponta Grossa – PR (dados diários do período entre 2010 e 2016) (Fonte: SIMEPAR)..... 186

Figura 66 – Total de precipitação pluvial (mm) em Ponta Grossa, PR. (dados diários do período entre 2010 e 2016). (Fonte: SIMEPAR)..... 187

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Produtividade de milho em função da tensão de água no solo e da dose de nitrogênio aplicada. Adaptado de HAGAN, 1955.	60
Tabela 2 – Resultados da análise química de solo de amostras coletadas na área experimental do CESCAGE. Ponta Grossa, PR. 2013.....	67
Tabela 3 – Esquema do quadro de análise de variância discriminando os fatores estudados.	71
Tabela 4 - Cronograma de atividades do ensaio.....	76
Tabela 5 - Média e desvio padrão da largura (cm) e comprimento (cm) das folhas de milho sob diferentes populações do híbrido P30F53YH.	80
Tabela 6 - Média e desvio padrão de largura (cm) e comprimento (cm) das folhas de milho em diferentes folhas do híbrido P30F53YH.	80
Tabela 7 - Atributos físicos do solo em função da época de semeadura na safra 2014/2015 (Época I) e profundidade de coleta das amostras de solo. Ponta Grossa, PR.	91
Tabela 8 - Atributos físicos do solo em função da época de semeadura na safra 2014/2015 (Época II) e profundidade de coleta das amostras de solo. Ponta Grossa, PR.	92
Tabela 9 – Atributos físicos do solo em função da época de semeadura na safra 2014/2015 e (Época III) profundidade de coleta das amostras de solo. Ponta Grossa, PR.	93
Tabela 10 – Características do índice S para a área de implantação da primeira época do ensaio (semeadura em 15 de setembro), a partir de amostras de solo coletadas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.....	102
Tabela 11 – Características do índice S para a área de implantação da segunda época do ensaio (semeadura em 30 de novembro), a partir de amostras de solo coletadas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.....	103
Tabela 12 – Características do índice S para a área de implantação da terceira época do ensaio (semeadura em 15 de dezembro), a partir de amostras de solo coletadas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.....	103
Tabela 13 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os diferentes atributos físicos do solo (N = 44). Ponta Grossa, PR.....	104
Tabela 14 - Parâmetros estimados análise de regressão múltipla, tendo o valor de índice S como sendo variável dependente e os valores de densidade do solo, TP, RP e BP como variáveis preditoras.	105
Tabela 15 - Resumo da análise de variância com aplicação do teste F para produtividade de milho (kg ha ⁻¹) durante a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	106
Tabela 16– Resumo da análise de variância com aplicação do teste F para produtividade de milho (kg ha ⁻¹) durante a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	106

Tabela 17 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época A da safra 2014/2015...	109
Tabela 18 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época B da safra 2014/2015...	110
Tabela 19 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época C da safra 2014/2105...	111
Tabela 20 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época A da safra 2015/2016 (continua).	112
Tabela 21 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época B da safra 2015/2016 (continua).	114
Tabela 22 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época C da safra 2015/2016 (continua).	116
Tabela 23 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época A da safra 2014/2015.	118
Tabela 24 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época B da safra 2014/2105.	119
Tabela 25 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época C da safra 2014/2105.	119
Tabela 26 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época A da safra 2015/2016.	120
Tabela 27 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época B da safra 2015/2016.	120
Tabela 28 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época C da safra 2015/2106.	121
Tabela 29 – Denominação dos fatores em função das variáveis e de suas cargas para as três épocas, nas duas safras de milho. Ponta Grossa, PR.	122
Tabela 30– Análise de variância com aplicação do teste F para os Fatores 1, 2 e 3 sob a influência das diferentes coberturas de solo, nas épocas A, B e C para a safra 2014/2015.	127
Tabela 31 – Análise de variância com aplicação do teste F para os Fatores 1, 2 e 3 sob a influência das diferentes coberturas de solo nas épocas A, B e C para a safra 2015/2016.	128
Tabela 32– Classificação das observações por meio das funções discriminantes canônicas para as épocas A, B e C da safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	134
Tabela 33– Classificação das observações por meio das funções discriminantes canônicas para as épocas A, B e C, da safra 2015/2016.	135
Tabela 34 – Coeficientes da regressão múltipla para a produtividade nas três épocas para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	136

Tabela 35– Coeficientes da regressão múltipla para a produtividade nas três épocas para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	136
Tabela 36 – Valores médios de produtividade (kg ha ⁻¹) para as duas safras (2014/2015 e 2015/2016) nas três épocas de implantação do experimento. Ponta Grossa, PR.	137
Tabela 37 – Normais climatológicas baseadas no período de 1954 a 2001, para a região de Ponta Grossa – PR.....	138
Tabela 38 – Datas de semeadura, florescimento e soma térmica para as três épocas nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	148
Tabela 39 – Datas de semeadura, florescimento e altura média de plantas para as três épocas nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	149
Tabela 40 – Coeficientes α e f para o modelo proposto de estimativa de crescimento de plantas de milho para as três épocas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.	150
Tabela 41 – Coeficientes α e f para o modelo proposto de estimativa de crescimento de plantas de milho para as três épocas na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	151
Tabela 42 – Coeficientes da função linear do tipo $y = a + bx$ associados ao estudo de regressão entre altura de plantas de milho e a soma térmica (ΣST), a radiação solar global acumulada (ΣQg), a precipitação acumulada (ΣP) e o saldo de radiação acumulado (ΣNR) na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.....	152
Tabela 43 – Coeficientes da função linear do tipo $y = a + bx$ associados ao estudo de regressão entre altura de plantas de milho e a soma térmica (ΣST), a radiação solar global acumulada (ΣQg), a precipitação acumulada (ΣP) e o saldo de radiação acumulado (ΣNR) na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	153
Tabela 44 – Ponto de inflexão (dias após a semeadura - DAS), soma térmica equivalente, radiação solar global acumulada, precipitação acumulada e saldo de radiação acumulado para as diferentes épocas, sistemas de cobertura e população de plantas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.....	155
Tabela 45 – Ponto de inflexão (dias após a semeadura - DAS), soma térmica equivalente, radiação solar global acumulada, precipitação acumulada e saldo de radiação acumulado para as diferentes épocas, sistemas de cobertura e população de plantas na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	156
Tabela 46 – Valores de soma térmica (ΣST), a radiação solar global acumulada (ΣQg), a precipitação acumulada (ΣP) e o saldo de radiação acumulado (ΣNR) para as safras 2014/2015 e 2015/2016 nas três épocas de semeadura, de acordo com os valores de ponto de inflexão. Ponta Grossa, PR.....	157
Tabela 47 – Correlação entre a população de plantas e as variáveis morfológicas da folha e o índice de área foliar para as três diferentes épocas de implantação na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.	158
Tabela 48 – Médias de comprimento de folha (CF - cm), largura de folha (LF – cm), área foliar (AF – cm ²) e índice de área foliar (IAF) para as três épocas de implantação do experimento na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.....	159

Tabela 49 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de cobertura de aveia preta na safra 2014/2015 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro) nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR. 160

Tabela 50 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de cobertura de aveia preta na safra 2015/2016 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro), nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR. 160

Tabela 51 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de pousio na safra 2014/2015 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro) nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR. 161

Tabela 52 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de pousio na safra 2015/2016 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro) nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR. 161

Sumário

1- Introdução	22
2 - Objetivos	24
3 - Revisão Bibliográfica.....	25
3.1 – Os elementos meteorológicos e a produção agrícola	25
3.2 – As condições de solo e a produção agrícola.....	27
3.3 - Aplicações das determinações dos atributos físicos do solo em estudos agrônômicos	29
3.4 – Fatores ambientais condicionantes da produção agrícola	32
3.4.1 – Irradiância Solar	32
3.4.2 - Evapotranspiração.....	38
3.5 - Cultura do milho	41
3.5.1 - Características gerais da planta	41
3.5.2 - Aspectos fisiológicos e fotossíntese.....	44
3.5.3 - Consumo de água	44
3.5.4 - Eficiência no uso da água	45
3.5.5 - Eficiência no uso da radiação.....	46
3.5.6 - Produtividade potencial	46
3.5.7 - Efeito da radiação solar sobre a produtividade da cultura do milho	47
3.5.8 - Efeito da Evapotranspiração sobre a produtividade da cultura do milho.....	48
3.6 – Coberturas de solo.....	49
3.7 – O solo na produção agrícola.....	51
3.7.1 - A água no solo	51
3.7.2 - Dinâmica da água no solo	56
3.7.3 – Aspectos culturais de produção relacionados ao suprimento de água no solo	59
4 - Material e Métodos	67
4.1 – Cronograma de atividades.....	75
4.2 - Modelos de crescimento vegetal – estudo de caso altura de planta de milho	77
5 - Resultados e Discussão	80
5.1 – Modelagem e determinação do índice de área foliar - IAF	80
5.2 – Avaliação dos atributos físicos do solo	91
5.3 – Avaliação da produtividade da cultura do milho.....	105
5.4 – Elementos meteorológicos e a produtividade da cultura do milho.....	138
5.5 –Cobertura do solo	160
6 – Conclusões	163
7– Referências Bibliográficas	164

APÊNDICE A – MÉDIAS DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS DO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 2010 E 2016 PARA A REGIÃO DE PONTA GROSSA, PR	185
APÊNDICE B – CURVAS AJUSTADAS DO MODELO SENOIDAL DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE MILHO PARA A SAFRA 2014/2015.....	188
APÊNDICE C – CURVAS AJUSTADAS DO MODELO SENOIDAL DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE MILHO PARA A SAFRA 2015/2016	212

1- Introdução

Para a maioria das culturas agrícolas existem recomendações definidas por órgãos de pesquisa sobre a melhor época de implantação e condução. As variações ocorrem em função de características genéticas e regionais, gerando-se então os chamados calendários agrícolas, ou seja, o período recomendado de cultivo para uma dada região. Esta adequação visa o incremento da produtividade pela maximização dos seus componentes de rendimento.

Entende-se por componente de rendimento de uma cultura as variáveis biológicas que associadas resultam na produtividade. Para a cultura do milho o número de plantas por unidade de área, de espigas por planta, de fileiras por espiga, de grãos por fileira e peso de mil grãos são os principais.

Sabe-se que o índice de colheita é a proporção entre a produção de grãos e a massa seca total da planta. Assim sendo, o crescimento e o desenvolvimento da planta e a sua produção de matéria seca estão intimamente relacionados com a sua produtividade.

Para um adequado crescimento e desenvolvimento, as plantas necessitam de condições ambientais adequadas. Estas incluem, além de condições meteorológicas locais, o suprimento de nutrientes e água.

Assim, os períodos recomendados de cultivo consideram as condições meteorológicas locais adequadas à cultura, principalmente os regimes de temperatura, radiação solar e precipitação. O solo, como um reservatório de água e nutrientes, apresenta variações no volume de água armazenado, de acordo com sua textura, estrutura, profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e sistema de manejo. Para uma mesma classe de solo, o manejo pode afetar suas características, fazendo com que seus atributos físicos sejam alterados resultando, por exemplo, em aumento da densidade do solo, redução da porosidade e, conseqüentemente, da infiltração de água, como normalmente ocorre em áreas compactadas.

Tendo-se a infiltração de água no solo como a forma de realimentação do volume de água armazenada e a evapotranspiração como a saída de água, as variações no manejo que resultarem em alterações nestes dois processos, conseqüentemente alterarão a expressão do potencial produtivo da cultura em dada localidade climática.

A profundidade efetiva do sistema radicular é a camada de solo onde se concentram a maior parte das raízes das plantas. Para que a planta possa manter-se hidratada e desempenhar seus processos metabólicos dentro de um ótimo de eficiência fisiológica, toda a camada de solo nesta profundidade deve permanecer com suprimento adequado de água o maior tempo possível durante toda a estação de crescimento da cultura. Isto inclui as corretas proporções entre água e ar, pois como órgão vivo, a raiz também necessita de oxigênio para respirar. A manutenção das condições físico-hídricas do solo é extremamente dependente da infiltração e da redistribuição de água no solo.

Da infiltração de água, parte-se para o processo de redistribuição de água no perfil, pelos processos de percolação. Este último ocorrerá de maneira satisfatória dependendo da porosidade e da condutividade hidráulica do solo. Em sistemas como o plantio direto, a espécie utilizada para a cobertura influencia diretamente os processos de interceptação da água da chuva, podendo facilitar o processo de infiltração e reduzir a saída de água pela evaporação.

Desta forma, a associação dos atributos físicos do solo e do período de implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.) resulta em uma combinação que altere sobremaneira o crescimento e o desenvolvimento das plantas no campo e, por conseguinte, a expressão dos componentes de rendimento da cultura e a produtividade primária da espécie estudada.

2 - Objetivos

Geral

- Avaliar o efeito combinado dos atributos físicos do solo e de diferentes coberturas de inverno sobre a disponibilidade de água no solo e os componentes de rendimento da cultura do milho, safra normal.

Específicos

- Avaliar o efeito da época de semeadura sobre os componentes de rendimento da cultura do milho.
- Estudar o efeito da densidade de cultivo sobre os componentes de rendimento da cultura do milho.
- Verificar a interação entre época de semeadura e densidade populacional da cultura do milho sobre os componentes de rendimento da cultura.
- Determinar o efeito combinado da cobertura de solo e densidade populacional no crescimento e no desenvolvimento da cultura do milho, bem como em seus componentes de rendimento.
- Compreender a dinâmica da água no solo em sistema de cultivo de milho sob diferentes densidades de semeadura, em sistemas de plantio direto com e sem palha.
- Estabelecer relações de dependência entre os atributos físicos do solo (densidade do solo, macro, micro, porosidade total, curva de retenção de água, curva de distribuição de poros) e a dinâmica da água para o cultivo de milho em sistema de plantio direto.

3 - Revisão Bibliográfica

3.1 – Os elementos meteorológicos e a produção agrícola

Os elementos meteorológicos locais e suas variações temporais e espaciais afetam a produtividade biológica das culturas em geral (TSIMBA et al., 2013a). Dentre eles, existem dois que se destacam por sua importância e interferência direta sobre a indução ao período de reprodução e ainda pela sua ação de maneira efetiva na definição do potencial produtivo: a radiação solar e a temperatura. Tais variáveis do meio físico pressupõem que os demais fatores de produção agrícola estejam dentro de níveis adequados para o crescimento e desenvolvimento vegetal (ADAMS; PEARSON; HADLEY, 2001).

Para a temperatura, o conceito de graus-dia (MCMASTER, 1997; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995) em específico para a cultura do milho, torna-se mais apropriado. Várias descrições de materiais genéticos são feitas em seu ciclo tanto em dias quanto pela somatória necessária de graus-dia para cada estágio de desenvolvimento a ser alcançado. Para esta cultura as chamadas temperaturas-base (inferior e superior) são, respectivamente, 8 °C e 30-35 °C (BONHOMME, 2000; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995).

Sob temperaturas diferentes daquelas consideradas como ideais, ocorrem alterações de caráter fisiológico, além de reações na planta induzidas por questões genéticas (YAISH; COLASANTI; ROTHSTEIN, 2011). Observa-se que variações nos períodos de implantação e condução, sujeitas a variações no regime vigente dos elementos meteorológicos, agem diretamente sobre as características morfológicas (índice de área foliar e número de folhas) e também sobre os componentes de rendimento da cultura (TSIMBA et al., 2013b).

Considerando a correta implantação e condução da cultura, o efeito das variáveis meteorológicas pode ser percebido diretamente sobre a produtividade primária nos chamados componentes de rendimento. No caso específico do milho, o peso dos grãos é diretamente afetado pelas condições ambientais na fase de enchimento, principalmente temperatura e radiação solar (MADDONNI; OTEGUI; BONHOMME, 1998). Já as características de pré-florescimento e número de grãos são ainda consideradas caracteres de cunho genético afetados diretamente pelas condições ambientais (ESCOBAR-GUTIÉRREZ; COMBE, 2012; OTEGUI; BONHOMME, 1998).

Associada à temperatura adequada, a disponibilidade de água afeta significativamente o desempenho da fotossíntese bruta (BRUCE; EDMEADES; BARKER, 2002). Da existência

de períodos de escassez de água, principalmente quando ocorrem na germinação / emergência e no florescimento / enchimento de grãos, o status de água no solo se torna tão importante quanto a disponibilidade de energia (NESMITH; RITCHIE, 1992b).

Para a cultura do milho, altamente dependente de disponibilidade de água, o manejo na implantação e durante a condução do experimento deve prever o momento ideal de disponibilidade de água e em volume suficiente para assegurar elevadas produções (FARRÉ; FACI, 2006).

O efeito combinado das condições atmosféricas locais e dos atributos físicos do solo pode afetar a fenologia e a resposta fisiológica de determinado material genético (NORD; LYNCH, 2009). O conhecimento das exigências da cultura em termos de recursos naturais e a utilização de práticas culturais com vistas ao controle de plantas daninhas, pragas e doenças, é indispensável quando se objetiva maximizar a produtividade do milho em campos de produção.

Nas áreas de cultivo de cereais de inverno e verão não irrigados, como é o caso da região de Ponta Grossa (PR), a precipitação ou regime pluviométrico local assume grande importância com vistas à obtenção da melhor reposta agrícola. O fornecimento de água às plantas, nestas áreas, depende exclusivamente do regime hídrico da região e de como este volume de água é armazenado no solo. Seu efeito é direto sobre a produtividade das culturas, reduzindo-se a produtividade potencial em situações de estresse hídrico.

Como a planta é potencialmente tanto mais produtiva quanto maior for o seu uso eficiente de água, o estudo desta eficiência associado a técnicas de modelagem sob diferentes ambientes tem sido utilizado com vistas a dimensionar estes efeitos. Isto tem permitido a determinação de características e condições ideais de cultivo, da mesma forma que o resultado de condições inadequadas (GARDIOL; SERIO; DELLA MAGGIORA, 2003; YANG et al., 2009).

A eficiência no uso da água está intimamente ligada à sua eficiência fotossintética. Os fatores que afetam a fotossíntese ainda são considerados variáveis sob distintas condições de campo, o que condiciona a demanda por estudos cada vez mais aprofundados no campo das ciências agrárias (BONATO; SCHULTHESS; BAUMGÄRTNER, 1999; PAUL; FOYER, 2001). Outras pesquisas visam examinar a associação de condições meteorológicas locais durante o desenvolvimento da cultura com os atributos físicos do solo, buscando encontrar relações existentes entre estas variáveis e a produtividade potencial (LIU et al., 2013). A densidade populacional, principalmente em espécies como o milho, e a sua distribuição na área afetam diretamente a forma de utilização de água e nutrientes, bem como o resultado das

variações dos elementos meteorológicos sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura (ZHU et al., 2013).

Trabalhos envolvendo modelagem e experimentação de campo sob situações onde existam variações meteorológicas locais durante o período de implantação e desenvolvimento das plantas, têm sido largamente propostos no mundo inteiro, objetivando-se encontrar respostas ou metodologias que permitam a estimativa de variáveis morfofisiológicas de espécies vegetais cultivadas que expressem as interações planta/clima/solo (CHALLINOR et al., 2009; CRAUFURD; WHEELER, 2009; MOTA, 1983; PARENT et al., 2010; YIN, 1995; YIN; STRUIK, 2010).

3.2 – As condições de solo e a produção agrícola

O solo pode ser entendido como um sistema multicomponente, integrado pelas fases sólida, líquida e gasosa, havendo íntima ligação entre as duas últimas (PREVEDELLO, 1996). As variações entre as proporções das diferentes fases, assim como a composição da fase sólida (minerais e matéria orgânica), conferem ao solo diferentes características que afetam diretamente o volume de água retida pelo solo (LIBARDI, 2005).

A forma com que a fase sólida se arranja irá resultar na formação de poros de diferentes formas, tamanhos e proporções entre estes, afetando diretamente as propriedades físicas solo e o desenvolvimento radicular da cultura (LIPIEC et al., 2007). Diferentes formas de manejo afetam atributos como a densidade do solo, a porosidade total e, conseqüentemente, a retenção de água no solo (CALONEGO; ROSOLEM, 2011).

A água ou solução do solo, como proposto por LIBARDI (2005), fica retida sob diferentes tensões e resulta em diferentes volumes, mais ou menos disponíveis às raízes, na dependência de como e onde ocorre esta retenção. Diferentes modelos foram propostos para explicar e dimensionar o volume de água retido pelos agregados do solo sob diferentes tensões. O mais consagrado e empregado por cientistas da área de Física de Solos é o modelo proposto por van Genuchten (1980) (TULLER; OR, 2004). Em sua grande maioria, os modelos matemáticos são ajustados determinando-se o volume ou massa de água retida pelo solo sob diferentes tensões, que variam de 0 a -1500 kPa (JONG; CAMPBELL; NICHOLAICHUK, 1983a; KOCHINSKI et al., 2013; RAWLS et al., 2003).

Como efeito da interação de diferentes atributos físicos do solo, a capacidade de retenção de água tem sido amplamente estudada, sendo que se tem continuamente buscado

métodos e técnicas para sua estimativa baseando-se em métodos alternativos menos dispendiosos do que as metodologias convencionalmente utilizadas com amostras indeformadas (ANTONPOULOS, 2000; CORNELIS, 2001). Outras pesquisas têm se voltado à avaliação do processo de armazenamento da água em diferentes profundidades no perfil, de maneira dinâmica, relacionando-se o armazenamento de água no solo ao uso da água pela cultura em campos de produção (CRAIG, 2006; DARDANELLI et al., 1997).

A análise da qualidade do solo, como efeito da combinação de sua estrutura e da forma e volume de água retida, é um conceito relativamente recente. Do modelo proposto por van Genuchten (1980) (GHANBARIAN-ALAVIJEH et al., 2010), podem ser determinados índices (como o índice *S*) que reúnem várias informações sobre os atributos físicos do solo em estudo (DEXTER, 2004a, 2004b; DEXTER et al., 2008).

O potencial mátrico do solo expressa a energia com que a água se encontra adsorvida e retida nos poros por capilaridade. Este mesmo potencial deve ser superado pelas raízes para que a água seja absorvida, sendo seu ponto limite variável de acordo com a espécie vegetal em estudo (WARRICK; OR, 2007).

A absorção de água pelas plantas se dá de maneira diferencial de acordo com as condições físico-hídricas do solo, havendo ação recíproca do solo sobre a planta e da planta sobre o solo. WHALLEY et al. (2005) apud WHITMORE; WHALLEY(2009) propuseram a existência de especificidades de condições com algumas culturas; os autores encontraram relações diferenciais sobre a retenção de água sob potencial mátrico de -6 kPa em solo próximo a raízes de milho em comparação ao solo distante desta espécie, identificando um menor potencial de retenção de água nas áreas da rizosfera.

Agrega-se a este fato a situação de que a característica de eficiência no uso da água é uma função da espécie e da cultivar/híbrido, estando ainda associada ao efetivo fornecimento de água à cultura (BROWN; SCOTT, 1984; COUTO; RUIZ PADÍN; REINOSO, 2013; DARDANELLI et al., 2004; FEDDES et al., 1976; KATERJI; MASTRORILLI; CHERNI, 2010). A modelagem tem sido também uma ferramenta na estimativa de efeitos de condições e na validação de fatores adversos, entre eles, a falta de água no solo (BERG; DRIESSEN; RABBINGE, 2002; SANCHEZ; ZAPATA; FACI, 2010).

Em função de seu efeito direto sobre a produtividade, os atributos físicos do solo têm especial relevância, mesmo em sistemas conservacionistas, como é o caso do sistema de plantio direto na palha (BOTTA et al., 2013; FABRIZZI et al., 2005; JIN; ZHOU; JIANG, 2010; MATERECHERA; MLOZA-BANDA, 1997).

Especificamente para sistemas de cultivo como o plantio direto, de longa data se estudam os seus efeitos sobre a manutenção de condições adequadas (físicas, químicas e hidrológicas) para o desenvolvimento das culturas, principalmente quando comparado com sistemas de manejo onde há mobilização do solo (BENNIE; BOTHA, 1986).

A entrada de água no perfil do solo se dá pelo processo de infiltração e o seu deslocamento, principalmente de forma descendente, se dá por percolação. Os sistemas de cultivo e a cobertura vegetal surtem efeito no volume de água efetivamente infiltrado e na sua redistribuição, sendo que o sistema estruturado (sem revolvimento - plantio direto, por exemplo) tem possibilitado maiores ganhos na retenção de água no solo (CONNOLLY, 1998; SCHWEN et al., 2011; STRUDLEY et al., 2008).

É importante, no entanto, salientar que os atributos físicos do solo em geral apresentam variabilidade espacial. Isto pode fazer com que variações entre unidades experimentais sujeitas a determinados tratamentos sejam observadas, mesmo sob condições supostamente controladas e em áreas relativamente próximas umas das outras (MIAO; MULLA; ROBERT, 2006; SHIN; MOHANTY; INES, 2013).

3.3 - Aplicações das determinações dos atributos físicos do solo em estudos agronômicos

O Balanço Hídrico é a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em um volume de solo vegetado. A variação de armazenamento de água no volume considerado (ΔARM), por intervalo de tempo, representa o balanço entre o que entrou e o que saiu de água do volume de controle, o qual vem a ser função da profundidade efetiva do sistema radicular das plantas. Admite-se que este volume de controle seja representativo de toda área em estudo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Genericamente, o balanço hídrico de uma área vegetada pode ser representado por entradas e saídas de água no solo.

Entradas: Precipitação (P); Irrigação (I); Orvalho (O); Escoamento Superficial (Ri); Drenagem Lateral (DLi), Ascensão Capilar (AC).

Saídas: Evapotranspiração; Escoamento subsuperficial (Ro), Drenagem Lateral (DLo); Drenagem Profunda (DP).

Assim, o balanço hídrico do volume de controle pode ser expresso da seguinte forma:

$$\Delta ARM = P + I - ET + AC - DP + Ri - Ro + DLi - DLo \quad (1)$$

O volume de controle é determinado pelo conjunto solo-planta-atmosfera. Para culturas anuais, a profundidade de solo explorado pelas raízes varia com o estágio de desenvolvimento das plantas. Uma vez definida a profundidade das raízes, tem-se o volume de controle.

No caso do balanço hídrico climatológico, desenvolvido por THORNTHWAITE; MATHER (1995) a equação 1 é considerada com o objetivo de se determinar a variação do armazenamento de água no solo, sem irrigação. Outra simplificação, para fins práticos, é considerar desprezível a ascensão capilar. Desse modo, torna-se possível estimar a variação de armazenamento, denominada de alteração do armazenamento (ALT), a evapotranspiração real (ETR), e a drenagem profunda, agora denominada de excedente hídrico (EXC), resultando na seguinte equação:

$$ALT = P - ETR - EXC \quad (2)$$

Além de ALT e de EXC, a determinação de ETP e ETR permite estimar o déficit hídrico (DEF), definido como:

$$DEF = ETP - ETR \quad (3)$$

Na elaboração de um balanço hídrico climatológico, o primeiro passo é a seleção da Capacidade de Água Disponível (CAD), ou seja, a lâmina de água correspondente ao intervalo de umidade do solo entre a CAPACIDADE DE CAMPO (CC) e o PONTO DE MURCHA PERMANENTE (PMP).

A CAD no solo, expressa em milímetros, deve ser determinada de acordo com as propriedades físico-hídricas do solo, as quais compreendem: a CC, o PMP, a densidade do solo (D_s) e a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas sob um determinado sistema de cultivo (Z). Assim:

$$CAD = 0,01 * (CC\% - PMP\%) * D_s * Z \quad (4)$$

Por profundidade efetiva entende-se aquela em que se concentra cerca de 80% das raízes das plantas, expressa em mm. Esta profundidade depende não só do tipo de solo, mas também da cultura, do regime hídrico e nutricional a que o solo está submetido.

Valores médios de Z de alguns cultivos no Estado de São Paulo (ALFONSI; PEDRO JR; ARRUDA, 1990) são apresentados no quadro abaixo:

Cultivo	Z (mm)
Hortaliças (folhosas em geral)	100 a 200
Arroz, Batata e Feijão	200 a 300
Trigo	300 a 400
Milho e Soja	400 a 500
Amendoim	500 a 600

Como recomendação geral, no caso de culturas perenes como cafeeiro, cana-de-açúcar, citros e outras frutíferas, pode-se adotar Z entre 700 e 1000 mm. Para essências florestais, pode-se adotar Z entre 1500 e 2500 mm.

As propriedades físico-hídricas do solo dependem da textura e da estrutura do solo, e são bastante variáveis. Para os solos agrícolas do Estado de São Paulo, tem-se CAD por unidade de profundidade variando desde 50 a 200 mm m⁻¹ de profundidade, sendo 130 mm m⁻¹ um valor médio prático. Devido a essas variações, o ideal é que o cálculo da CAD seja feito para as condições locais de solo e de cultura, inclusive considerando-se a variação da profundidade do sistema radicular com o estágio de desenvolvimento fenológico da cultura. No caso de haver variação acentuada das propriedades físico-hídricas com a profundidade em dada propriedade rural, deve-se calcular a CAD de cada camada de solo, sendo a CAD total da profundidade efetiva dada pelo somatório da CAD das camadas.

Na impossibilidade de se ter dados locais, pode-se utilizar critérios aproximados assim recomendados por DOORENBOS; KASSAM (1979), para fins práticos:

- Solo de textura pesada: 200 mm m⁻¹
- Solo de textura média: 140 mm m⁻¹
- Solo de textura grossa: 60 mm m⁻¹

Os valores percentuais de CC e PMP são, respectivamente, equivalentes a conteúdos de água de amostras de solo submetidas a tensões de 10 ou 33 kPa (dependendo da textura do solo) e 1500 kPa. Assim, para fins de determinação dessas variáveis do meio físico, faz-se necessário a aquisição de tensiômetros e/ou sensores matriciais granulares (GMS) para monitoramento do potencial matricial e umidade do solo em base volumétrica em experimentos de campo (PEREIRA et al., 2006).

Em resumo, antes de se iniciar a elaboração de um projeto de irrigação, é preciso conhecer-se alguns aspectos fundamentais como:

- Fenologia da cultura
- Demanda hídrica da cultura
- Características físicas do perfil do solo.

O turno de rega ou frequência de irrigação (TR) é o número de dias transcorridos entre um episódio de irrigação e o subsequente. Esta importante variável de um projeto de irrigação pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$TR = AFD/ET_m \quad (5)$$

Em que: AFD é o intervalo da CAD do solo que estaria facilmente disponível, a qual representa a fração da CAD explorada pelas raízes das plantas antes de se configurar a deficiência de água, sendo expressa em mm.

$$AFD = p * CAD \quad (6)$$

Sendo a fração p o fator de depleção admissível atribuído à umidade do solo de modo a assegurar evapotranspiração da cultura em taxas máximas, sendo função do grupo a que pertence a cultura e dos valores de evapotranspiração máxima da cultura.

$$ET_m = ET_o * K_c \quad (7)$$

Considerando-se ET_m a lâmina ideal de irrigação a ser adotada para maximizar a produtividade agrícola, ET_o a demanda evaporativa da atmosfera (função do clima) e K_c o coeficiente de cultivo, o qual varia com o desenvolvimento fenológico da espécie vegetal considerada e as condições climáticas locais. A ET_m será expressa em $mm \text{ dia}^{-1}$ para a cultura e localidade estudada.

3.4 – Fatores ambientais condicionantes da produção agrícola

3.4.1 – Irradiância Solar

3.4.1.1 Origem da radiação solar

A radiação solar é, sem dúvida alguma, a fonte mais importante de energia para a Terra. Está associada diretamente a vários processos biológicos e/ou físicos. Desconsiderando eventuais variações, anuais ou cíclicas, pode-se considerar que a energia proveniente do Sol é

constante, cujo valor é considerado como constante solar (S) e numericamente equivale a 1367 W m^{-2} . (AHMAD; TIWARI, 2011; LEAN, 1997; SOLANKI; KRIVOVA; HAIGH, 2013)

Embora a referida densidade de fluxo de radiação instantânea seja considerada “constante”, observações mais detalhadas relatam que seu valor varia ao longo dos anos de acordo com variações cíclicas associadas à atividade solar (Figura 1).

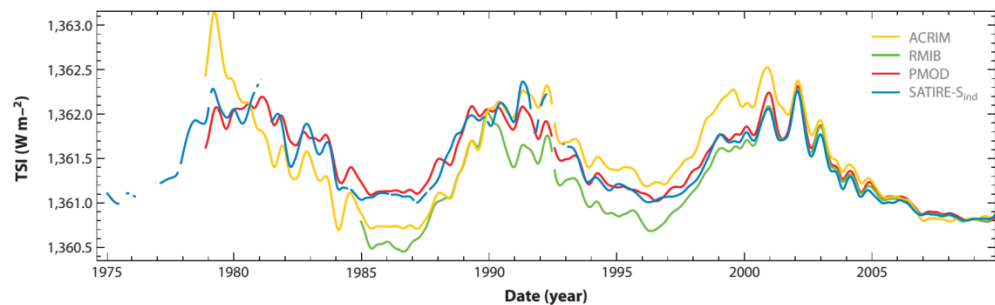


Figura 1 – Variações da constante solar (Irradiância Solar Total - Total Solar Irradiance – TSI) ao longo dos anos. (Adaptado de (SOLANKI; KRIVOVA; HAIGH, 2013))

4.4.1.2 - Variação da radiação solar

Há que se enfatizar ainda que, em função do local (latitude) e da época do ano existem variações gerais na quantidade de energia proveniente do sol que atinge a superfície terrestre, considerando que existe esta mesma variação na quantidade de radiação que atinge o topo da atmosfera. Dentre os principais fatores que interferem sobre a quantidade de energia radiante recebida pela superfície, segundo BESHARAT et al. (2013), estes fatores podem ser agrupados em (Figura 2):

- (1) Fatores astronômicos (constante solar, distância média Terra-Sol, declinação solar e ângulo horário).
- (2) Fatores geográficos (latitude, longitude e altitude).
- (3) Fatores de geometria (ângulo de azimute da superfície, ângulo de inclinação da superfície, ângulo de elevação do sol, azimute do sol).
- (4) Fatores físicos (dispersão de moléculas de ar, teor de vapor de água, espalhamento de poeiras atmosféricas e outros constituintes, tais como O_2 , N_2 , CO_2 , etc.).

(5) Fatores/elementos meteorológicos (radiação solar extraterrestre, duração do brilho do sol, temperatura, precipitação, umidade relativa, efeitos de nebulosidade, temperatura do solo, evaporação, reflexão do entorno, etc.).

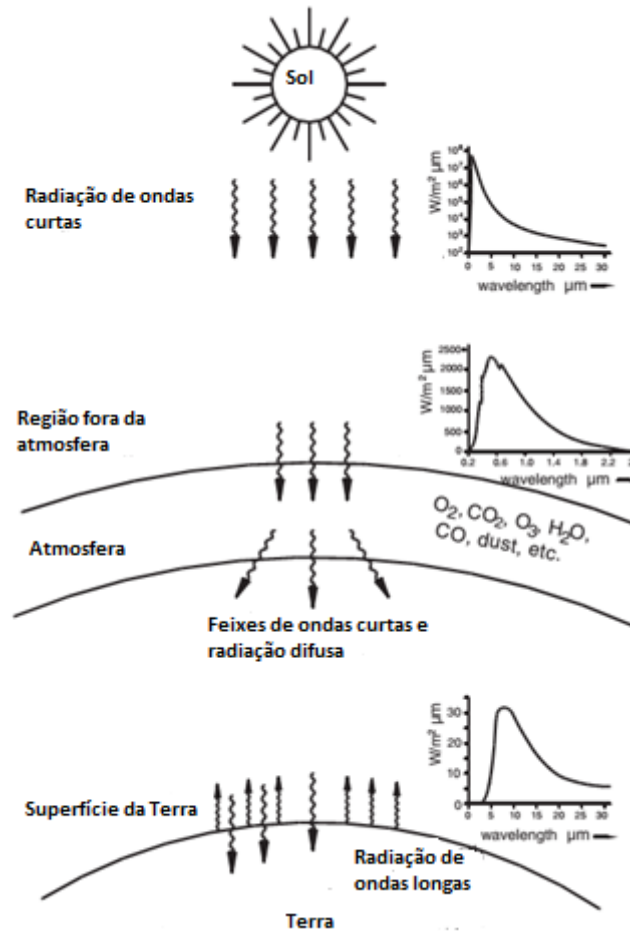


Figura 2 - Variações da radiação solar – extraterrestre e terrestre. Adaptado de (AHMAD; TIWARI, 2011).

Além deste fator, ainda existem variações associadas à quantidade de energia proveniente de radiações direta e difusa, sendo esta diferenciação de grande importância para o estudo dos efeitos da radiação solar sobre os processos anteriormente citados (JAIN, 1990).

Quando da impossibilidade de determinação efetiva da radiação ou ainda da necessidade de se correlacionar a sua variação com a de outras variáveis do meio físico, lança-se mão de modelos matemáticos que podem variar de acordo com o parâmetro utilizado em determinados estudos: modelos baseados no brilho solar, modelos baseados na cobertura de nuvens, modelos baseados na temperatura, e modelos baseados em outros elementos meteorológicos (BESHARAT; DEGHAN; FAGHIH, 2013).

Dentre os diversos modelos empregados e testados em diversas localidades pela comunidade científica mundial, com vistas às relações de dependência entre a irradiância solar incidente no topo da atmosfera e a irradiância efetiva que atinge a superfície terrestre e a razão de insolação, o de Angström (1924) modificado por Prescott (1940) é um dos mais utilizados em estudos agrônômicos e radiométricos (AHMAD; TIWARI, 2011; BESHARAT; DEHGHAN; FAGHIH, 2013; JAIN, 1990; JAIN; JAIN, 1988).

4.4.1.3 - Aspectos fisiológicos das plantas associados à radiação solar

A fotossíntese para as plantas superiores é a forma mais ampla da utilização da radiação solar que atinge a superfície da terra, em suas mais diversas intensidades e duração (NIINEMETS, 2007). A captura de dióxido de carbono atmosférico e a sua transformação em fotoassimilados, através do aparato foliar, estão diretamente relacionados com a eficiência de uso da radiação solar interceptada pelas plantas superiores, de modo a estabelecer o nível de produtividade das culturas em dada localidade (BOYER; WESTGATE, 2004; COVSHOFF; HIBBERD, 2012; POORTER; ANTEN; MARCELIS, 2013).

A eficiência de uso da radiação solar está diretamente associada ao grupo no qual a planta pertence, sendo que, em um menor número de espécies, as plantas de metabolismo C_4 são efetivamente mais eficientes no uso da radiação do que as que apresentam metabolismo do tipo C_3 (LONG; SPENCE, 2013).

Tecnicamente, a luz é uma forma de energia radiante que o olho humano percebe através da visão. A terminologia luz ultravioleta, visível e infravermelho é de uso geral, referindo-se às faixas de comprimento de onda entre 160 a 380 nm, 380 a 760 nm e 760 para 40.000 nm, respectivamente (NORRIS, 1968). No entanto, para fins agrícolas e de estudo de ação da radiação sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas, o conceito mais utilizado é o da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) (400 – 700 nm), que compreende a faixa dentro do espectro de luz visível que age de maneira estimulante sobre os diferentes pigmentos das plantas superiores, apresentando efeito direto sobre a fotossíntese (DAUGHTRY et al., 1992; ZHU; LONG; ORT, 2010).

A soma algébrica dos fluxos de radiação de onda curta que chegam e saem do dossel das culturas, medidos acima e abaixo do dossel, será efetivamente utilizada no processo

fotoassintético, constituindo-se a fração PAR absorvida pela cultura do milho (Asrar et al., 1989 apud DAUGHTRY et al., 1992). A fração PAR efetivamente convertida em fotoassimilados, assumindo que outros fatores de produção não sejam restritivos, possibilita a proposição do conceito de Eficiência no Uso da Radiação (EUR). A referida variável nada mais é do que a relação entre a energia interceptada pela cultura e a produção de matéria seca, expressa em g MJ^{-1} (BRODRICK et al., 2013).

De maneira geral, como pode se observar na Figura 3, as plantas tendem a reduzir o seu rendimento (eficiência de captura de energia solar no processo fotossintético) com o aumento da intensidade de radiação, valendo ressaltar que existem limites energéticos para obtenção da melhor resposta biológica das plantas expressa por maiores valores de eficiência fotossintética da cultura em dada localidade.

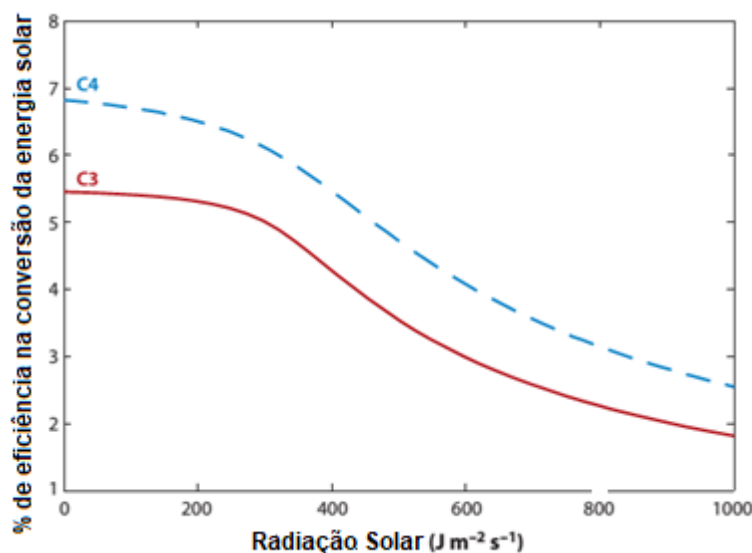


Figura 3 - Variação da eficiência de conversão da energia solar em função da radiação solar incidente (Adaptado de (ZHU; LONG; ORT, 2010)).

Ao se avaliar o processo de fotossíntese de maneira simplista e distinta entre os grupos de plantas C₃ e C₄, pode-se observar igualmente uma variação na resposta fisiológica da cultura obtida em função da radiação solar incidente (Figura 4). Desta forma, não somente a radiação solar como fator meteorológico, mas também o estado hídrico, nutricional e sanitário das plantas deve ser considerado em estudos agrônômicos com vistas à maximização da produtividade e minimização dos custos de produção.

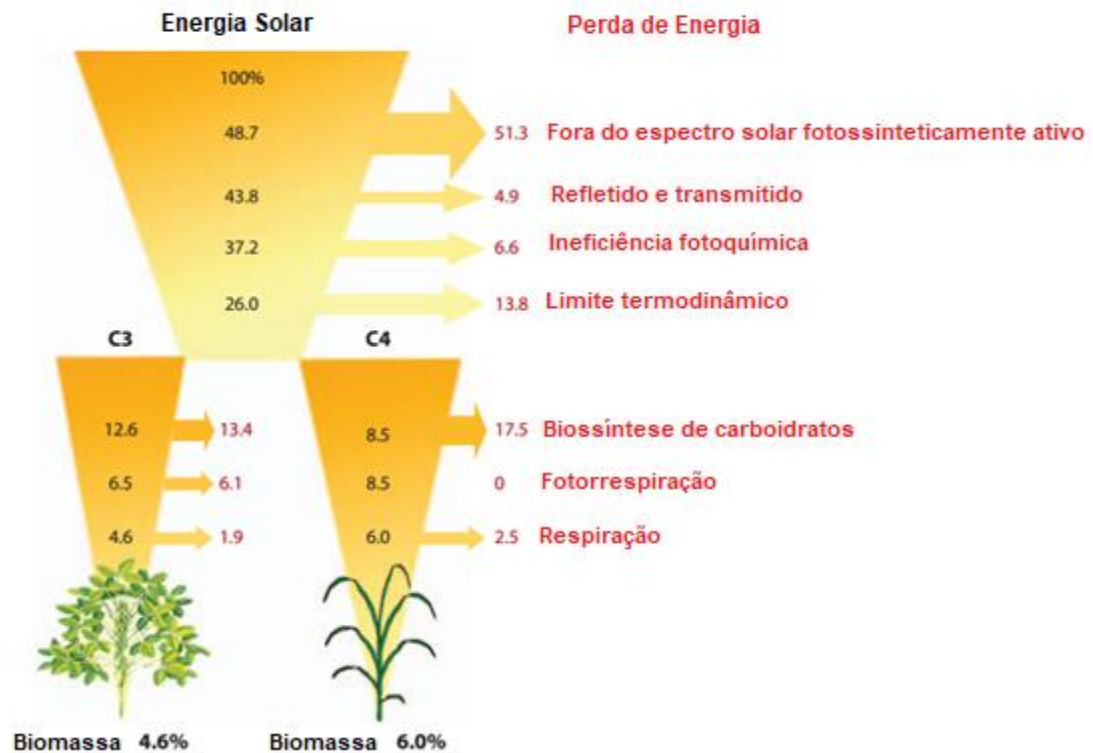


Figura 4 - Perdas de energia dentro do dossel, mostrando a porcentagem restante (dentro de setas) e o percentual de perdas (à direita) de energia disponível para a fotossíntese em plantas C₃ e C₄. Os percentuais discriminados acima assumem uma temperatura da folha de 30°C e uma concentração de CO₂ atmosférico de 387 ppm. A eficiência de conversão de energia fotossintética máxima teórica é de 4,6% para plantas C₃ e 6% para C₄. Esses valores são para o espectro total da radiação solar. Se a análise é considerada como sendo limitada à radiação fotossinteticamente ativa (400–700 nm), então esses valores se tornam 9,4% para C₃ e 12,3% para C₄ (Adaptado de (ZHU; LONG; ORT, 2010)).

Sob posse do conhecimento a respeito da associação entre radiação solar e fotossíntese, é inevitável o estabelecimento da mesma relação entre radiação solar e evapotranspiração. Assim sendo, a qualidade espectral, a intensidade e a eficiência com a qual a radiação solar é interceptada pelo dossel interferem diretamente sobre a maneira que é utilizada na síntese orgânica, resultando em diferenças significativas nas taxas de evapotranspiração e, por consequência, na produtividade final da cultura (GAO et al., 2013; KAKANI et al., 2011; SAUER et al., 2007).

3.4.2 - Evapotranspiração

A evapotranspiração é a combinação de dois processos distintos onde a água é transportada para a atmosfera de um lado pelo solo por evaporação e de outro por transpiração pelas plantas (ALLEN et al., 1998). A transferência de água do sistema de solo – planta para a atmosfera ocorre por meio da evapotranspiração (ET), incluindo a evaporação da água do solo e de outras superfícies (E) mais a transpiração (T) através de estômatos da planta. O uso de modelos para estimar ET de culturas agrícolas é muito comum, porque a medição direta do ET é difícil e cara (GARDIOL; SERIO; DELLA MAGGIORA, 2003).

Evapotranspiração ou uso consumptivo de espécies vegetais cultivadas constitui um componente do ciclo hidrológico que deve ser considerado em estudos de balanço hídrico, modelagem agrometeorológica, projetos de irrigação das culturas de modo a assegurar a sustentabilidade da agricultura em campos de produção (IRMAK et al., 2013).

Mais de 90% do total de água utilizado na agricultura representa as taxas de evapotranspiração. Considerá-la em estudos agrometeorológicos possibilita, portanto, a maximização da produtividade vegetal e a minimização de custos em campos de produção agrícola (DING et al., 2013).

Os componentes individuais de ET incluem evaporação (E) e transpiração (T) através dos estômatos das plantas, e em alguns casos a evaporação de porções de água interceptada pela camada de dossel e serrapilheira de planta e do solo. A função de (E) e (T) dentro dos ecossistemas é distintamente diferente: (T) é associada geralmente com a produtividade da planta, considerando que E não contribui diretamente para a produção. A partição de água em componentes desejáveis e indesejáveis é geralmente definida pelo termo "uso eficiente da água", ou o menos ambíguo termo "produtividade de água", onde (T) é comumente considerado o componente mais desejável e (E) o indesejável (Antunes et al., 2012; Van Halsema e Vincent, 2012 *apud* KOOL et al.(2014)).

ET é um processo importante para ciclos hidrológicos de ecossistemas agrícolas e para o balanço energético, estando intimamente ligada à produtividade do ecossistema (Jung et al., 2010; Oki e Kanae, 2006 *apud* HU et al. (2013)).

O conhecimento detalhado dos fluxos de calor latente e sensível da superfície da Terra é importante para monitorar o clima da superfície, para avaliar processo de parametrização em

modelos de clima e tempo empregados para prever os fluxos de troca entre a superfície e a baixa atmosfera e para aplicações agrícolas, como a programação de irrigação. Os principais métodos classicamente usados para medir ET estão disponíveis para dada escala de tempo em condições de campo (como razão de Bowen, sistema de correlação de Eddy, equilíbrio de água do solo), porém estes métodos não permitem que a estimativa de fluxo de água seja feita em grandes áreas geográficas. Para aplicações operacionais, engenheiros gestores de água e irrigação precisam ter estimativas precisas de ET (COURAULT; SEGUIN; OLIOSSO, 2003).

A partição de ET em E e T é desafiadora, mas importante para avaliar a produção de biomassa vegetal e a alocação de recursos hídricos cada vez mais escassos. Em geral, T é o componente desejado como a água que está sendo utilizada para aumentar a produtividade da cultura; tendo em vista que E é uma fonte de perda de água ou ineficiência. A magnitude de E é esperada como sendo bastante significativa em sistemas com pouca vegetação, particularmente em áreas secas ou em sistemas com água em abundância, tais como superfícies irrigadas, culturas e zonas úmidas. Nestes casos, a partição de ET é fundamental para monitorar com precisão a hidrologia do sistema e melhorar as práticas de gestão de água (KOOL et al., 2014).

O processo de transpiração, ou consumo de água voluntária pela cultura, é um dos principais componentes do processo fotossintético, sendo diretamente associado à entrada de ar e de CO_2 na câmara subestomática.

A taxa transpiratória varia diretamente em função do conteúdo de água no solo, da demanda evaporativa da atmosfera e das características morfofisiológicas das plantas e, em muitos casos, pela constituição genética do híbrido ou cultivar (PURCELL; EDWARDS; BRYE, 2007).

A evapotranspiração de referência (ET_o) é a taxa de perda de água advinda de uma área cultivada com grama batatais (*Paspalum notatum* L.) ou com alfafa (*Medicago sativa* L.), em fase de desenvolvimento ativo, sem estresse hídrico, com altura uniforme entre 8 a 15 cm e índice de área foliar próximo de 3. Entretanto, vale considerar a existência de diferenças entre os valores estimados de ET para as culturas adotadas como material de referência. PAYERO; IRMAK (2013) encontraram uma relação de 32,3% na ET da alfafa em relação à de área gramada, sendo esta relação não linear (senoidal), variando ainda com a época do ano.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) nem sempre é uma informação simples de ser determinada, principalmente pela grande amplitude de variações de condições que a cercam e interferem sobre seu valor final. Desta forma, a maneira mais prática é a utilização de modelos matemáticos que correlacionam a evapotranspiração de referência (ET_o) com a evapotranspiração da cultura (ET_c), fazendo com que se obtenha então um coeficiente (K_c) que estabelece a relação entre uma e outra.

Além disto, é importante ressaltar que havendo variação das condições meteorológicas e de estágio de desenvolvimento das culturas, igualmente variarão os índices de área foliar e, por consequência, as taxas evapotranspiratórias, o que gerará diretamente variações no valor do consumo hídrico relativo (K_c) (SUYKER; VERMA, 2009).

3.5 - Cultura do milho

3.5.1 - Características gerais da planta

O milho (*Zea mays* L.) é uma das plantas mais extensivamente estudadas dentre as culturas agrícolas, em termos fitotécnicos, citológicos e genéticos, bem como quanto a sua história evolutiva sob domesticação. Apesar disso, pontos de vista conflitantes ainda existem sobre sua origem. Estes pontos de vista concentram-se em torno de duas hipóteses. A mais antiga e ainda persistente é que o milho primitivo foi selecionado pelo homem diretamente a partir de seu mais próximo parente vivo: o teosinto (*Zea mexicana* L.), ou ainda a partir de um ancestral comum a ambos (GALINAT, 1971).

A planta de milho é particularmente sensível ao estresse hídrico (reduzindo sua produtividade), principalmente quando este ocorre no período de florescimento, gerando considerável redução no número de grãos (por comprometer a polinização) (FENG et al., 2013; OTEGUI; ANDRADE; SUERO, 1995; STEDUTO; HSIAO, 1998).

Dada a grande quantidade de nutrientes necessária à produção e a lâmina de água a ser consumida pelas plantas para crescimento e desenvolvimento, o entendimento dos processos fisiológicos que interferem na absorção, translocação e consumo de água pela cultura mostra-se imprescindível para a compreensão dos demais processos relacionados à produção e aos níveis de produtividade alcançados (CIAMPITTI; VYN, 2012; MONZON; SADRAS; ANDRADE, 2012; PUNTEL, 2012).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de clima tropical, de ciclo C₄ que necessita de condições adequadas para o seu crescimento e desenvolvimento, mas por outro lado conta com maior eficiência no uso da água, de radiação solar e CO₂ (LONG; SPENCE, 2013) do que as plantas de metabolismo C₃. Neste ínterim, a temperatura apresenta papel fundamental, controlando e afetando a velocidade de ocorrência dos diferentes processos morfofisiológicos na planta. Possui temperaturas basais em torno de 8 °C como inferior e 30 °C como superior, a depender do híbrido e/ou cultivar (MONTEIRO, 2009). Nos processos de modelagem, em associação com o desenvolvimento fenológico da cultura do milho o limiar de temperaturas utilizado tem sido ao redor de 8 a 10° C como mínima e 30°C como máxima (KUMUDINI et al., 2014; PAHLAVANIAN; SILK, 1988; TOJO SOLER; SENTELHAS; HOOGENBOOM, 2005).

Em seus diferentes estádios de desenvolvimento (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1986) apresenta requisitos mínimos para definição e manutenção de seu potencial produtivo, tendo em vista que esse é definido nos primeiros estádios vegetativos e efetivado a depender das condições gerais ambientais até e durante os estádios reprodutivos.

O aparecimento de folhas novas e o seu crescimento é função da intensidade luminosa e das temperaturas diurnas e noturnas. BOS; TIJANI-ENIOLA; STRUIK (2000), em suas pesquisas com milho em câmaras de cultivo, determinaram uma relação próxima da ideal entre as temperaturas diurna e noturna, na ordem de 23°C / 18 °C. Temperaturas demasiadamente baixas durante a noite podem afetar a eficiência fotossintética da planta, reduzindo em até 30%, após noites frias próximas a 4° C (YING; LEE; TOLLENAAR, 2000).

O filocrono, tempo térmico necessário para o aparecimento de folhas sucessivas na haste principal de uma planta, para a cultura do milho é em média de 50°C dia folha⁻¹, havendo, no entanto, variações em função das demais condições ambientais, tais como temperatura do solo, disponibilidade hídrica e radiação, podendo esse variar de 36 a 51°C dia folha⁻¹ (Birch et al., 1998; Hesketh et al., 1988; Jame et al., 1999; Martins et al., 2011; Tojo Soler et al., 2005; Tsimba et al., 2013b).

As raízes são igualmente afetadas pela temperatura do ar e do solo, fato este conhecido de longa data (LAL, 1978). PAHLAVANIAN; SILK (1988) definiram como sendo a temperatura ideal para o desenvolvimento das raízes primárias do milho a faixa entre 16 a 29°C, afetando de maneira considerável a velocidade e a taxa de crescimento e de maneira menos expressiva o diâmetro das raízes e a matéria seca. O desenvolvimento radicular parece ter associação não só com as temperaturas, mas também com características genéticas, havendo variação de comportamento a depender do híbrido/cultivar utilizado (REIMER et al., 2013; YYGREAVES, 1996). Entretanto, é válido ressaltar que a temperatura não age de maneira isolada sobre o crescimento radicular da cultura do milho, havendo igual importância na disponibilidade de água e características físicas do solo (BARBER; MACKAY, 1988; CHEN; WEIL, 2011; KOVAR et al., 1992).

A temperatura do solo e suas flutuações advindas das práticas de manejo de solo podem afetar significativamente a produtividade da cultura do milho, variando de maneira independente, muitas vezes, com a temperatura do ar, sendo estes efeitos mais expressivos nas fases iniciais de desenvolvimento do que durante o período reprodutivo da cultura (SONG et

al., 2013). Na tentativa de suplantar efeitos negativos de baixas temperaturas de solo, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho (VE a V2), os quais podem acarretar perdas de produtividade potencial da cultura, utilizam-se tratamentos de sementes a base de micronutrientes, principalmente Zn, Fe e Mn (IMRAN et al., 2013).

Como o milho tem seus processos fisiológicos sensivelmente condicionados pela soma térmica, temperaturas altas tendem a acelerar o seu crescimento e desenvolvimento, reduzindo eventualmente alguns estádios fenológicos da cultura. Em situações onde a temperatura atinge níveis consideravelmente altos, principalmente durante a noite, ocorre redução no período de enchimento de grãos (R2 a R4 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1986)), resultando, por consequência, em menor massa de grãos e potencialmente menor produtividade (BADU-APRAKU; HUNTER; TOLLENAAR, 1983; SUWA et al., 2010).

O aumento de temperaturas noturnas faz com que, em termos gerais, a produtividade da cultura do milho caia, por afetar mecanismos fisiológicos que governam a produção e o consumo de fotoassimilados e também por afetar o seu desenvolvimento (HATFIELD, 2016). Além da temperatura do ar e do solo, o fotoperíodo também age marcadamente sobre as fases de enchimento de grãos, principalmente até a antese (HUNTER; TOLLENAAR; BREUER, 1977).

No entanto, se a exposição a temperaturas elevadas por curtos períodos de tempo se estabelecer, a planta apresentará capacidade de recuperação de potenciais estresses gerados. Temperaturas acima da fisiologicamente ideal (30°C) afetam a eficiência de uso da radiação, assim como o acúmulo de matéria seca e a partição de fotoassimilados (EDREIRA et al., 2012). ANDRADE; UHART; CIRILO (1993) obtiveram aumento de 2,27 para 3,17 g de matéria seca por MJ de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel, com alteração da época de semeadura de setembro para novembro, em Balcaré, Argentina. Nos casos de produção de milho para silagem, o aumento da temperatura e a geração de estresse ambiental causam alteração nas proporções de produção de grãos e fibras, reduzindo o primeiro e aumentando o segundo (FERREIRA et al., 2016).

De maneira geral, quanto maior o teor de água dentro dos tecidos vegetais, maior tende a ser o controle da temperatura da comunidade vegetal. Desta forma, a temperatura das folhas de milho varia com o seu teor de água, de forma que mesmo em dias de temperatura do ar dentro

de limites tolerados pela cultura, as folhas podem apresentar variações expressivas de temperatura interna em função de seu teor de água (HACKL et al., 2012).

Dada a importância da temperatura para a cultura, o planejamento do período de implantação em dada localidade torna-se fundamental, considerando o atendimento da necessidade da cultura e ainda a eventualidade de condições inadequadas à finalização do ciclo desta (PENARIOL et al., 2003; SOLER et al., 2007).

3.5.2 - Aspectos fisiológicos e fotossíntese

A fotossíntese é reconhecida como um processo fisiológico de captura de dióxido de carbono atmosférico (CO_2) através dos cloroplastos, devido a diferenças de pressão de vapor d'água entre a câmara subestomática e o ar atmosférico. É diretamente afetada pela qualidade espectral da radiação e pela intensidade de radiação solar incidente, bem como pela partição desta densidade de fluxo de energia radiante em duas componentes básicas: a direta e a difusa (CHOUDHURY, 2001). O ganho líquido na produção de matéria seca nada mais é do que a diferença entre a fotossíntese bruta e a respiração, sendo ambos os processos condicionados pela temperatura e radiação solar.

Sendo parte integrante do processo fotossintético, a transpiração através dos estômatos interfere diretamente sobre a eficiência fotossintética. A eficiência na transpiração das culturas, em específico na cultura do milho, pode ser modelada considerando-se a precipitação efetiva (que atinge e infiltra no solo), a evaporação de água a partir do solo e a redução dos níveis de água disponíveis para o período desejado. Ainda, é sabido que esta variável é afetada pelo índice de área foliar da cultura, assim como pela radiação solar incidente (WALKER, 1986).

3.5.3 - Consumo de água

O volume de água necessário à manutenção dos processos fisiológicos normais das culturas deve ser minimamente aquele que mantenha os tecidos túrgidos e que permita a manutenção dos processos de evapotranspiração em níveis toleráveis ou ideais.

Em muitos casos, dependendo das exigências da cultura e dos atributos físicos do solo, a manutenção da umidade do solo dentro de níveis que caracterizam a capacidade de campo,

não se mostra suficiente para que se atinja o máximo rendimento biológico da cultura, embora ganhos fisiológicos sejam observados em campos de produção de milho (variando de 6 a 11%) quando suprimento adequado de água no solo foi proporcionado à cultura durante o período de formação da produção (KANG et al., 1998).

Vários fatores afetam o consumo de água em uma área de produção, sendo a maioria deles resultados da interação entre elementos meteorológicos (regime de vento, por exemplo), e variáveis morfofisiológicas (como índice de área foliar e eficiência de uso da radiação) (STEDUTO; HSIAO, 1998).

A produtividade primária, como efeito final do processo de cultivo, é dependente das condições de manejo do solo e da planta, incluindo a densidade populacional, tendo visto que a demanda de água varia consideravelmente por unidade de área em função do número de plantas em campos de produção (SANGOI et al., 2002).

Na cultura do milho, o déficit hídrico, quando culmina com a fase de florescimento, é responsável por grandes quebras de produtividade ou “yield gaps”. Uma depleção no conteúdo de água no solo em torno de 60% da capacidade de campo pode significativamente comprometer o rendimento biológico e econômico da cultura (BERGAMASCHI et al., 2006).

3.5.4 - Eficiência no uso da água

A produtividade das culturas está diretamente relacionada com a sua capacidade de capturar e utilizar de maneira eficiente os recursos naturais, tais como água, radiação solar, CO₂ atmosférico e nutrientes minerais, de maneira a possibilitar a conversão de tais recursos em biomassa vegetal (fotoassimilados e matéria seca) (YI et al., 2010).

Entende-se por eficiência no uso de água a relação entre o consumo hídrico da cultura e a produção de matéria seca decorrente do processo de perda d'água, normalmente nas unidades: g de matéria seca por mm ou kg de água.

Para a cultura do milho, os valores de eficiência no uso da água variam em função de aspectos de manejo produtivo e de irrigação. Pesquisas têm encontrado valores variando entre 1,56 e 5,55 g kg⁻¹, com consumo de água 2,20 a 6,02 kg (KANG et al., 1998) até 5,18 a 6,75 g kg⁻¹ (YI et al., 2010), dependendo das condições de cultivo e dos híbridos utilizados.

3.5.5 - Eficiência no uso da radiação

De forma análoga à eficiência no uso da água, a eficiência no uso da radiação é dependente de outras variáveis, expressando a quantidade de carboidratos produzidos na fotossíntese por unidade de energia solar interceptada pela parte aérea das plantas. O índice de área foliar (IAF) pode ser considerado um dos parâmetros fisiológicos de maior importância biológica, tendo em vista que a referida variável define a fração da PAR que será diretamente interceptada pelo dossel das plantas.

A cultura do milho apresenta níveis variáveis de eficiência no uso da radiação, variando de 2,7 a 3,4 g MJ⁻¹ (YI et al., 2010), em função da época de semeadura, do sistema de cultivo e do híbrido utilizado. Este índice fisiológico pode ainda variar de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura e da densidade populacional, pois está associado a outros fatores de produção. Em estudos enaltecendo variações de população de plantas em campos de produção de milho (WATIKI et al., 1993) foram obtidos valores de 1,51 a 1,65 g MJ⁻¹ sob densidades populacionais variando de 2,2 a 6,7 plantas m⁻², respectivamente, num período de 21 a 43 dias após a semeadura da cultura.

3.5.6 - Produtividade potencial

Sendo a produtividade o resultado final da ação dos fatores externos (meteorológicos e solo), biológicos (planta, sanidade e competição) e de manejo, para a determinação de produtividades potenciais, em grande parte das pesquisas, busca-se o isolamento e/ou controle das demais variáveis ambientais que controlam a expressão da potencialidade produtiva de espécies vegetais cultivadas, concentrando-se a atenção naquelas que afetam diretamente os resultados sob condições padronizadas de cultivo.

Sendo a cultura do milho diretamente dependente de tecnologia para seu cultivo (híbridos, fertilidade, tratamentos fitossanitários, irrigação em algumas épocas e regiões) e ainda altamente responsiva às práticas de manejo, são esperados incrementos em produtividade quando da adoção de práticas intensivas. A estimativa de produtividade através de fatores ambientais e de características da cultura durante as diferentes fases de desenvolvimento é

prática usual quando se propõe simultaneamente o planejamento das safras e estudo das respostas fisiológicas da cultura aos fatores de produção agrícola.

A radiação solar, como anteriormente discutido, é um dos fatores e/ou elementos meteorológicos que significativamente afeta a produtividade potencial da cultura do milho. Estudos têm sido realizados visando à aquisição de informações que possam ser revertidas em indicativo de potencial produtivo, assim como de eventuais variações entre híbridos quanto ao aspecto produção (WEBER et al., 2012). Diferenças entre resultados, associando-se condições gerais de cultivo e a eficiência no uso da radiação, por exemplo, foram descritas por (CHOUDHURY, 2001) que obteve uma eficiência de 30 e 28 mmol mol⁻¹, para regiões de clima temperado e tropical, respectivamente. Tais resultados podem ser explicados pelas condições consideradas ideais para a cultura, onde as temperaturas do dia e da noite devem apresentar uma considerável diferença, estimulando o processo fotossintético durante o dia (temperaturas mais altas) e reduzindo as perdas por respiração à noite (temperaturas mais amenas).

3.5.7 - Efeito da radiação solar sobre a produtividade da cultura do milho

A radiação solar é uma variável que não pode ser manejada e não é pela junção de fatores, tais como localização, época e altitude (BESHARAT et al., 2013).

Assim, a seleção do período de implantação da cultura para cada região em específico constitui ponto crucial para que se possa assegurar a expressão do potencial produtivo da espécie considerada. Pela dificuldade e indisponibilidade de sensores eletrônicos em estudos agrônômicos, a temperatura do ar tem sido utilizada como uma variável de rotina indicadora do nível energético do ar em associação com a radiação solar, principalmente em campos de produção de milho.

Trabalhos desenvolvidos por DIDONET; RODRIGUES (2002) têm associado estas duas condicionantes meteorológicas. Os referidos autores concluíram que a produtividade da cultura do milho está diretamente relacionada com a disponibilidade de radiação solar e com a temperatura, tendo sido positiva a correlação entre ambas variáveis.

3.5.8 - Efeito da Evapotranspiração sobre a produtividade da cultura do milho

A suficiência de água, considerada o volume mínimo para a manutenção dos processos fisiológicos normais da cultura sem que haja limitações, é variável de acordo com o seu estágio de desenvolvimento. Para a cultura do milho, durante o período de florescimento, a eficiência e a necessidade de água disponível no solo sem qualquer tipo de restrição, constituem fatores imprescindíveis para a obtenção de boas respostas agrícolas com elevados níveis de produtividade em dada região (HERNANDEZ; SOUZA, 2003).

O efeito da disponibilidade hídrica sobre a produtividade da cultura do milho pode ser evidenciado pelo trabalho realizado por BOLAÑOS; EDMEADES (1993a) que, estudando o efeito de diferentes híbridos cultivados em condições de suficiência hídrica (tratamento irrigado) e déficit hídrico (tratamento não irrigado), observaram uma redução no período de florescimento da cultura sob suprimento adequado de água no solo e, conseqüentemente, um aumento na produtividade, e um comportamento inverso sob déficit hídrico.

Ainda como resposta do milho à deficiência hídrica, ANOTHAI et al. (2013) concluíram que a ação de crescimento das raízes pode estar diretamente ligada às condições de baixos níveis de umidade na superfície do solo, indicando desta forma que um certo nível de estresse hídrico pode ser benéfico para que a cultura possa aprofundar suas raízes no solo e explorar maior volume de água em momentos de redução no fornecimento de água.

Esta relação ratifica o que foi determinado por BOLAÑOS et al. (1993), onde além do crescimento radicular diferenciado também evidenciaram diferenças existentes no potencial de água na folha, em função dos regimes de irrigação utilizados.

Sendo Kc (coeficiente de cultivo ou consumo hídrico relativo) variável para cada cultura e estágio de desenvolvimento, KANG et al. (2003) obtiveram os seguintes valores médio, máximo e mínimo para a cultura do milho em regiões semi úmidas: 1,04; 1,43 e 0,45, respectivamente, sendo que o valor máximo se deu aos 80 dias após a semeadura (DAS). Os autores estabeleceram ainda a relação entre a transpiração (T) e a evapotranspiração (ET), cujo valor máximo de T/ET foi de 0,9, culminando com um valor de IAF equivalente a 3. O modelo empregado para quantificar a demanda evaporativa da atmosfera apresenta desempenho distinto em função das variáveis de entrada do modelo. São muitos os modelos matemáticos que se

distanciam das estimativas obtidas pelo método padrão proposto pela FAO (Penman-Monteith) para calcular a demanda potencial em dado local (Gharsallah et al., 2013).

3.6 – Coberturas de solo

O sistema de plantio direto baseia-se no não revolvimento do solo e manutenção e melhoria de sua estrutura física, incremento de carbono orgânico, na rotação de culturas e na manutenção da cobertura morta (restos culturais ou culturas especificamente de cobertura) (PARIHAR et al., 2016). O sistema de plantio direto de longa duração resulta em melhorias na retenção de água do solo, no aumento da porosidade total do solo, na redução da densidade do solo, na distribuição do tamanho de poros e na estabilidade de agregados (TUZZIN DE MORAES et al., 2016; WANG et al., 2014).

As coberturas do solo apresentam diferentes funções, entre elas a supressão de plantas daninhas (CUTTI et al., 2016), a ação na redução das perdas de água do solo por evaporação (GABRIEL; MUÑOZ-CARPENA; QUEMADA, 2012), melhoria das condições físico-químicas do solo (SHAFI et al., 2007), além de proteção física do solo (FLORIO et al., 2014).

O sistema mais comumente utilizado, principalmente nas áreas de plantio direto na região dos Campos Gerais do Paraná, é a semeadura de culturas para coberturas de inverno que serão base para a semeadura da cultura do verão. No entanto, existe a possibilidade do cultivo integrado da cultura principal com outras espécies na entrelinha. BALDÉ et al. (2011), avaliando o efeito do cultivo de milho de maneira isolada ou em combinação com culturas de cobertura, não observaram efeito de redução de produtividade da cultura do milho cultivado com a cobertura em comparação àquela cultivada isoladamente.

O uso de culturas de inverno na sequência das quais o milho será cultivado na primavera/verão resulta em aumentos de produtividade, em decorrência de variações nos atributos físicos do solo e parâmetros fisiológicos da cultura. GAO et al. (2009), testando o cultivo de milho e trigo sequenciais e de maneira isolada, observaram que o consumo relativo de água da cultura e a eficiência no uso da água apresentaram flutuações provenientes das condições de cultivo. Os referidos autores encontraram incremento de produtividade nas duas culturas devido ao cultivo sequencial em comparação ao cultivo isolado.

As culturas de cobertura, antecessoras à cultura do milho, também podem promover efeitos benéficos de caráter nutricional para as plantas, principalmente a fixação de nitrogênio, reduzindo a necessidade de utilização de fertilizantes minerais. Além da redução de custos em campos de produção, o menor risco de contaminação de corpos de água (reservatórios e lençóis freáticos) constitui outra vantagem de sua utilização nestas situações para preservação do ambiente agrícola (GABRIEL et al., 2013).

Embora menos comum do que a utilização de uma cultura comercial ou de cobertura de inverno, o pousio (manutenção da área sem cultura, apenas com restos culturais e plantas voluntárias) é praticado em algumas áreas. Entretanto, a utilização de sistemas conservacionistas de produção de milho com a inclusão de coberturas de inverno é uma eficiente alternativa ao sistema pousio/milho para promover acúmulo de matéria orgânica no solo e contribuir para o sequestro do CO₂ atmosférico em solos agrícolas, garantindo a qualidade ambiental (AMADO et al., 2001).

Avaliando o efeito das culturas de cobertura sobre a produtividade da cultura do milho, LÁZARO et al. (2013) constataram que o milho cultivado com a utilização de palhada de aveia preta + tremoço branco foi o mais produtivo (10.817 kg ha⁻¹), apresentando rendimento superior e diferindo do milho cultivado sobre palhada de aveia preta + crambe + vegetação espontânea.

O uso de culturas de inverno, quando comparado ao pousio para fornecimento de nutrientes às culturas, mostra-se nitidamente distinto quanto a seus efeitos em campos de produção agrícola. GIACOMINI et al. (2004) testaram diferentes culturas e combinações destas em comparação ao pousio invernal e determinaram que a equivalência do consórcio de aveia preta + ervilhaca no inverno requer a necessidade de aplicação de 180 kg ha⁻¹ de uréia no milho, no sistema de pousio, para que os mesmos potenciais produtivos fossem atingidos.

Por ser igualmente frequente na região dos Campos Gerais do Paraná, o sistema de integração lavoura-pecuária utiliza coberturas de inverno que têm a dupla função de servir como forragem aos animais e contribuir para a melhoria das condições de produção das culturas de verão. DA SILVA et al. (2012) avaliaram o efeito de coberturas de inverno, entre elas aveia preta, como forragem e o seu efeito combinado sob diferentes lotações de pastejo sobre a produtividade das culturas de milho e soja. Os referidos autores reportaram benefícios à cultura do milho, com pastagens puras ou diversificadas e com diferentes categorias de animais (leves e pesados).

3.7 – O solo na produção agrícola.

O solo como composto trifásico é responsável pela manutenção e sustentação física das plantas, além de lhes conferir suprimento de ar, água e nutrientes. À medida que o manejo do solo afeta seus atributos, sua capacidade de armazenar água, proveniente normalmente de chuva e/ou irrigação, é afetada. O cultivo de diferentes espécies faz com que diferentes camadas do solo sejam exploradas, de forma que suas características e propriedades devem ser consideradas ao longo de todo o perfil do solo.

A textura, associada às demais características, exerce papel fundamental nas principais propriedades de caráter hidrológico do solo, quer sejam naquelas que afetam a interceptação da chuva (irrigação) e o seu armazenamento, quer seja naquelas que afetam a disponibilidade da água armazenada às culturas.

A densidade e porosidade, por interferirem diretamente sobre o volume de água passível de ser armazenado, são alvo de grande parte das pesquisas que envolvem a associação da disponibilidade de água no perfil para as plantas. A modelagem da produtividade agrícola tem sido aliada dos pesquisadores no sentido de que permite o estudo (previsibilidade) de condições gerais e de estruturar cenários para os quais se estabelecem condições a campo.

As diferentes culturas, com seus diferentes metabolismos e características próprias, cercam-se de variados fatores condicionantes ao processo produtivo, sendo que alguns são mais simples de serem avaliados, e outros dependem de pesquisas mais aprofundadas, por abordarem efeito de uma grande gama de condições ambientais.

Tendo-se a precipitação como grande fonte de entrada de água e a evapotranspiração como forma de consumo produtivo da água, as relações existentes entre esta última e a produtividade são frequentes nos trabalhos que buscam compreender e aprimorar o potencial produtivo das principais culturas.

3.7.1 - A água no solo

A necessidade de água para a germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas é fato notório. Desta forma, todos os processos e características do meio físico que afetam direta ou indiretamente o processo de recepção, interceptação, armazenamento, fornecimento e dinâmica de água para as plantas afetam de igual forma o seu potencial produtivo.

Se faltar água no solo as plantas não conseguem retirar do solo aquela água que consumiriam através dos estômatos para atender a demanda evaporativa da atmosfera. Assim, as plantas perdem a sua turgescência, as células-guardas se tornam flácidas e os estômatos se fecham. Com isso, a transpiração vegetal paralisa e deixa de haver a assimilação de CO₂ atmosférico através dos estômatos, resultando, portanto, em quebras de produtividade (“yield gaps”). Alguns botânicos e fisiologistas vegetais asseveram que com a interrupção da transpiração estomatal advinda do déficit hídrico as temperaturas internas das plantas aumenta podendo, em casos extremos, promover a desnaturação proteica e o colapso termal.

De maneira objetiva e de um ponto de vista fisiológico, TAIZ; ZEIGER (2013), páginas 85-86, conceituam água no solo como sendo:

“O conteúdo de água e a sua taxa de movimento no solo dependem em grande parte do tipo e da estrutura do solo. Em um extremo está a areia, cujas partículas podem medir 1 mm de diâmetro ou mais. Solos arenosos têm uma área de superfície por unidade de grama de solo relativamente pequena e grandes espaços ou canais entre as partículas. No outro extremo está a argila, cujas partículas são menores que 2 µm de diâmetro. Solos argilosos têm áreas de superfície muito maiores e canais menores entre as partículas. Com o auxílio de substâncias orgânicas como o húmus (...), as partículas de argila podem agregar-se em “torrões”, possibilitando a formação de grandes canais que ajudam a melhorar a aeração e a infiltração de água no solo.”

A água chega ao solo, nas áreas onde não se pratica a irrigação, principalmente na forma de chuva. De acordo com suas características (intensidade pluviométrica e duração) e com as características do solo (físicas e de topografia, além da cobertura e estado de conservação), podem ocorrer processos como: infiltração, escoamento superficial, acúmulo. A partir da infiltração pode ocorrer ainda percolação, redistribuição lateral, escoamento subsuperficial. Quando a percolação e o perfil do solo permitem que água permeie e atinja níveis relativamente profundos, pode-se considerar no processo de contabilidade hídrica a componente drenagem profunda (TUCCI, 2004).

Desta forma, a água que atinge a superfície do solo a partir da precipitação poderá ser parcial ou totalmente armazenada no perfil do solo, sendo posteriormente disponibilizada para a planta (ou ao sistema¹) para os processos físicos e fisiológicos associados (MILLY, 1994). A efetiva porção de água armazenada no solo varia ao longo do tempo podendo ser estimada por cálculos de balanço hídrico, tais como o proposto por Thornthwaite (1948) e revisado por Thornthwaite & Mather (1955) (KUMAR, 2003).

¹ Neste caso refere-se a sistema como sendo “Solo – Água – Planta – Atmosfera”.

Considera-se como armazenamento da água no solo aquela porção de água que, depois do processo de infiltração e de percolação e, de atingido o equilíbrio entre potenciais (Ψ mátrico ou matricial, e Ψ gravitacional), fica armazenada nos microporos e associada à matéria orgânica, conhecida como água prontamente disponível. Fazendo parte desta porção de água, mas em um nível além dos limites de acesso (absorção radicular) da maioria das culturas, está a chamada umidade higroscópica. Esta porção de água envolve diretamente as partículas de solo (principalmente argila) e só é removida quando o solo é exposto a uma tensão de vapor muito forte, como por exemplo, aquela obtida por ocasião de secagem em estufa a 105 °C.

Definem-se então dois novos pontos relativos ao total de água disponível no solo, chamados de capacidade de campo e ponto de murcha. O primeiro, associado a tensões baixas, aproximadamente de -33 kPa, é o ponto considerado ideal para o crescimento e desenvolvimento radicular, porém pode ser considerado de duração efêmera, pois tão logo toda a água gravitacional percole no perfil ou então seja redistribuída lateralmente, associado aos processos de absorção de água pelas raízes das plantas e de evaporação direta pela superfície do solo, o conteúdo de água no solo fica aquém deste ponto. O segundo, associado a tensões bem mais elevadas, de -1500 kPa, torna-se impeditivo de uso pelas culturas, fazendo com que mesmo que haja água no solo, esta será em volume muito pequeno e não pode ser considerada como disponível para as plantas (SPOLLEN et al., 2008).

O solo considerado como reservatório natural de água para as plantas é diretamente afetado por suas características físico-hídricas. A densidade do solo e a porosidade total, associadas à textura, são as principais geradoras de variação no perfil do solo (LEIJ; GHEZZEHEI; OR, 2002b). A textura, como dependente do material de origem e dos processos de formação do solo, normalmente é a fonte menos variável (SAXTON; RAWLS, 2006). REICHERT et al. (2009), estudando solos do Rio Grande do Sul encontraram funções de pedotransferência associando a textura ao armazenamento de água no solo. Em seus resultados os pesquisadores encontraram variações no teor de água disponível da ordem de 0,089 kg kg⁻¹ para solos arenosos e de 0,191 kg kg⁻¹ para solos argilo-siltosos.

A densidade do solo e a porosidade total podem ser consideradas como altamente relacionadas e inversamente proporcionais entre si. Dependendo do material de origem, quanto mais denso for o solo, menor tende a ser sua porosidade (TULLER; OR, 2004). A porosidade pode ainda ser subdividida em macro (> 0,08 mm), meso (> 0,03 e < 0,08) e microporos (< 0,03 mm). Fisicamente, além do tamanho (diâmetro), podem ser distinguidos pela sua condição

quando o solo se encontra em equilíbrio em termos hídricos (CC - Capacidade de Campo). Nesta situação, os macroporos estão repletos de ar enquanto que os microporos estão repletos de água (ALAOUI; LIPIEC; GERKE, 2011).

No que tange a porosidade total do solo, não só o volume de solo se torna importante, mas também a forma pela qual os poros distribuem-se dentro das classes. Surge daí o conceito de PSD (*Pore Size Distribution*) ou distribuição do tamanho dos poros, que trata da relação entre cada diâmetro médio de poro e sua proporção na porosidade total. Sabe-se que além de interferir sobre os processos de armazenamento a PSD também afeta a dinâmica da água no solo, principalmente após terem ocorrido alterações na estrutura do solo (LEIJ; GHEZZEHEI; OR, 2002a). Comparando-se sistemas alterados com sistemas inalterados (naturais), percebe-se um aumento significativo da macroporosidade nos sistemas inalterados, o que favorece em muito os processos de infiltração de água no solo (SASAL; ANDRIULO; TABOADA, 2006).

A modelagem é uma ferramenta amplamente utilizada na tentativa de se encontrar matematicamente uma forma de se estimar o conteúdo de água no solo em dado momento, quer seja por variações no tempo, quer seja por variações na tensão ou estado estrutural do solo (GENUCHTEN, 1980; KÖHNE; KÖHNE; ŠIMŮNEK, 2009; OTEGUI; ANDRADE; SUERO, 1995; ŠIMŮNEK; GENUCHTEN, 1998). Neste sentido GENUCHTEN (1980) propôs um modelo amplamente utilizado atualmente onde a relação existente entre o conteúdo de água no solo e a tensão da água no solo (potencial matricial) é estabelecida por uma curva normalmente logaritma, resultando na chamada Curva Característica de Água no Solo (Soil-Water Characteristic Curve – SWCC). Dependendo da forma de determinação dos parâmetros da curva e de sua análise, várias informações podem ser obtidas, principalmente no que diz respeito às propriedades hidráulicas de determinado tipo de solo (ŠIMŮNEK; WENDROTH; VAN GENUCHTEN, 1998).

As curvas de retenção de água, dependendo do sentido do fluxo, podem variar para um mesmo solo, em função dos ciclos de drenagem (secagem) e ascensão capilar (umedecimento). À variação das duas curvas características dá-se o nome de histerese (PEDROSO; SHENG; ZHAO, 2009).

O ajuste de cada curva característica elaborada para cada tipo de solo (levando-se em conta aqui classe de solo, classe textural, manejo agrícola e cobertura) permite a determinação de parâmetros médios teóricos comuns aos grandes grupos. Sendo a textura do solo uma das

maiores interferentes no processo de retenção de água no solo, grande parte das curvas padrão é expressa em função das variações das frações de areia, argila e silte do solo (GITIRANA; FREDLUND, 2004).

Convencionalmente utilizam-se parâmetros derivados da curva padrão de retenção de água no solo. O índice S ou ponto de inflexão obtido da primeira derivada da curva de retenção pelo modelo proposto por van Genuchten é um exemplo de aplicação prática em estudos de qualidade de solo (DEXTER, 2004a). Os valores propostos para avaliação física da área de produção agrícola são de $S > 0,035$ para indicar condições favoráveis para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, ao passo que valores inferiores a este limiar são considerados restritivos ao crescimento das raízes no perfil do solo (MAIA, 2011).

É válido ressaltar que não é adequado considerar a densidade do solo tão somente como atributo físico para validação de seu potencial de armazenamento de água. Sendo uma medida relativa (massa por volume) a composição do solo afeta diretamente esta propriedade. Desta forma, por exemplo, a uma mesma textura de solo com um maior teor de matéria orgânica, pode-se ter um melhor arranjo espacial das partículas no solo, formando-se agregados e estes apresentarem condições distintas de capacidade de armazenamento de água, bem como densidades distintas (BRAIDA et al., 2006).

Além de fator agregante, a matéria orgânica também possui cargas ativas responsáveis pela retenção de água, associando-se a compostos hidrofílicos disponíveis ao processo de decomposição de resíduos orgânicos ou ainda de matéria orgânica estável no solo (húmus) (JONG; CAMPBELL; NICHOLAICHUK, 1983b; ZHUANG et al., 2008).

A disponibilidade de água para as plantas também está relacionada diretamente com a profundidade efetiva do sistema radicular. Esta profundidade é considerada como sendo aquela na qual se concentram a maior parte das raízes absorventes sendo, portanto, o volume de controle onde eventuais variações do conteúdo de água são mais efetivamente responsáveis por alterações na capacidade de retenção de água no solo (GREEN; KIRKHAM; CLOTHIER, 2006; NOVÁK; HURTALOVÁ; MATEJKA, 2005; SIQUEIRA; KATUL; PORPORATO, 2009).

Esta profundidade varia ao longo do ciclo da cultura com o desenvolvimento do sistema radicular em consonância com o desenvolvimento da parte aérea. Em média, para uma mesma cultura, consideram-se valores de referência para a profundidade efetiva das raízes, admitindo-

se, no entanto, a existência de variações de armazenamento hídrico em função do sistema de cultivo, da classe de solo, da variedade ou híbrido e ainda em função dos atributos físicos do solo.

Da associação dos atributos físicos do solo (densidade, textura e porosidade total do solo) que resultam em específicos conteúdos de água no solo sob condições de equilíbrio hídrico (capacidade de campo e ponto de murcha) com as características morfológicas da cultura (profundidade efetiva das raízes), estabelece-se outro conceito de grande importância para o estudo do efeito da disponibilidade de água às culturas conhecido como Capacidade de Água Disponível (CAD).

O conhecimento da CAD possibilita a definição do momento de aplicação de água em projetos de irrigação das culturas, demandando informações a respeito dos atributos físicos do solo e da profundidade efetiva das raízes. O turno de rega ou frequência de irrigação requer determinação da CAD e da evapotranspiração máxima da cultura em seus diferentes estádios fenológicos para cada região estudada.

As alterações no sistema de preparo e de manejo do solo por ocasião da implantação da cultura e adoção de práticas culturais no campo afetam diretamente todos os atributos físicos do solo. As práticas de manejo de solo e cultura certamente irão interferir sobre a dinâmica da água no solo, modificando assim a CAD do solo e a CAD explorada pelas raízes das plantas, mesmo em regiões com regime regular de distribuição de chuvas onde não são normalmente considerados os períodos de estiagem.

3.7.2 - Dinâmica da água no solo

Como dito anteriormente, a entrada de água no solo é, em grande parte, devida às chuvas. A intensidade pluviométrica (I_p), medida de volume de água por unidade de tempo, expressa normalmente em “mm h⁻¹”, apresenta a mesma unidade dimensional da propriedade do solo velocidade de infiltração (V_i) (VASCONCELLOS; AMORIM, [s.d.]). A velocidade de infiltração de água no solo varia em função do seu nível de saturação, sendo maior (mais rápida) no início do processo de infiltração (tomando por base um solo com teores de água próximos a capacidade de campo) e diminuindo ao longo do tempo, de maneira exponencial à

medida que se alteram os teores de umidade nas camadas mais profundas do solo (VAN DUIJN; PIETERS; RAATS, 2004).

A V_i depende de outro atributo físico do solo: a condutividade hidráulica (K) (DAKSHANAMURTHY; FREDLUND, 1981). Este pode, por sua vez, variar ao longo do perfil de umidade do solo desde os níveis inferiores de saturação de água no solo (K_θ) até sua estabilidade (K_{θ_s}), quando o solo atingir a saturação em umidade (momento em que todos os macroporos e microporos do solo estiverem totalmente preenchidos com água) (SALARASHAYERI; SIOSEMARDE, 2012). Em modelagem da produção agrícola, dois momentos do fluxo de água no solo podem ser genericamente considerados: um sob situação de solo saturado e outro sob situação de solo não saturado, os quais afetam diretamente tanto o volume, quanto a velocidade e a direção do fluxo.

Por ser uma propriedade dependente diretamente dos demais atributos físicos do solo, a condutividade hidráulica (K), não raro, varia ao longo do perfil de solo. A V_i é função direta de K , da profundidade efetiva do sistema radicular e de eventuais variações de K dentro deste perfil, quando se considera o volume de água dentro da região de desenvolvimento das raízes.

Assim, a partir da infiltração (V_i) e da percolação (K_θ) a água atinge gradativamente níveis mais profundos do solo, havendo equilíbrio dinâmico entre os potenciais gravitacional e matricial. A condutividade hidráulica expressa a facilidade com que a água se move através do solo. A diminuição da condutividade hidráulica em solo com menor conteúdo hídrico é devida principalmente ao movimento de ar no solo para substituir a água. Como o ar se move no perfil, os caminhos para o fluxo de água entre as partículas de solo tornam-se menores e mais tortuosos e o fluxo torna-se mais difícil. A forma geral desta curva é representativa de muitos solos, mas a forma de um determinado solo pode ser influenciada pela distribuição do tamanho de suas partículas e pelo conteúdo de matéria orgânica no solo. A capacidade de campo é a quantidade de água que o solo é capaz de reter contra forças gravitacionais. O ponto de murcha permanente é o valor de potencial de água do solo em que plantas não podem recuperar a pressão de turgor mesmo à noite, na ausência de transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2013).

No sentido inverso, a ascensão capilar gera movimento contrário da água no perfil, em função da chamada capilaridade do solo. Esta capilaridade pode ser considerada como a interconexão entre os microporos do solo. A partir de um volume de água disponível a dada profundidade, a água pode ascender verticalmente no perfil, dentro do equilíbrio dinâmico entre

potenciais. Quanto menor for o tamanho do poro (microporo), maior tenderá a ser a tensão sob qual a água se mantém no interior do poro.

Na interface solo-atmosfera, ou seja, na primeira camada do solo, considerada aqui como de espessura singular capaz de interferir no processo de infiltração e de evaporação, as características de estruturação e textura resultam em alterações nos processos citados, além de receber interferência direta dos teores de matéria orgânica e da cobertura do solo (viva ou não). Associando-se a situações extremas, quando do solo descoberto e desestruturado (sistema de plantio convencional – mais precisamente após passagem de enxada rotativa – olericultura), a rede de poros (macro e micro) capazes de conduzir a água no perfil de maneira descendente acaba ficando reduzida, fazendo com que o valor de K_0 fique dependente diretamente da textura do solo e do perfil de umidade (DRAGIČEVIĆ et al., 2012). Pode ainda ocorrer um processo denominado de selamento superficial. Este último ocorre quando, pelo impacto das gotas de chuva, partículas de solo são deslocadas e acabam por se colocar de maneira a impedir ou dificultar a entrada de água no processo de infiltração.

Em sistemas protegidos de cultivo, como é o caso do plantio direto, a palha absorve o impacto da gota de chuva, fazendo com que a água escoe entre ela, atingindo o solo com baixa velocidade, favorecendo a manutenção da estrutura do solo e reduzindo as chances de selamento superficial (dependendo do nível de cobertura e da qualidade da palha).

No sentido inverso, a saída de água do solo por processos de evaporação, também é diretamente dependente da estrutura do solo, da sua coloração e composição, e da existência ou não de proteção física (palhada). Por se tratar de um processo físico, a evaporação de água do solo está sujeita à demanda evaporativa da atmosfera, expressa pela tensão de água no ar logo acima da superfície do solo, da temperatura, do regime de ventos e da capilaridade do solo (PREVEDELLO; LOYOLA, 2005).

O conteúdo de água no solo está em constante modificação, sendo a estabilidade (reconhecida aqui como Capacidade de Campo) alcançada somente em alguns períodos, porém mantida por curto espaço de tempo (NEVES; CHAMBEL-LEITÃO; LEITÃO, 2000). Variações no armazenamento de água no solo resultarão por consequência em interferência direta sobre os demais processos dependentes diretamente da água disponível no solo. Estes processos podem ser de ordem química, física e/ou biológica, tais como mobilização de

nutrientes no perfil, compactação e mineralização da matéria orgânica por macro e microrganismos, respectivamente (ANDRADE et al., 2002).

O conteúdo de água no solo interfere diretamente sobre os processos físicos do solo. Os perfis de variação da temperatura do solo (tautócronas) variam de acordo com os atributos físicos do solo. A umidade do solo em profundidade governa o padrão de variação da temperatura do solo (DAKSHANAMURTHY; FREDLUND, 1981). É sabido que a profundidade limite para ação das variações de temperatura a partir da superfície do solo é ao redor de 0,30 m, a partir da qual pouca ou nenhuma ação expressiva é observada. A forma pela qual a energia migra da superfície para camadas mais profundas do solo depende diretamente da condutividade térmica do solo, normalmente expressa em $\text{cal s}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{°C}^{-1}$ (MCCUMBER; PIELKE, 1981). A condutividade térmica de um solo estará condicionada pela textura do solo, umidade do solo e teor de matéria orgânica no solo.

A determinação de parâmetros que governam e interferem sobre a dinâmica da água no solo é fundamental para o seu manejo, assim como as práticas culturais adotadas interferem diretamente sobre estes parâmetros, lançando-se mão da técnica de modelagem numérica para obtenção de informações importantes a respeito de processos dinâmicos que ocorrem em meios porosos (ZURMÜHL; DURNER, 1998).

3.7.3 – Aspectos culturais de produção relacionados ao suprimento de água no solo

Desde o momento da semeadura até a maturação, a planta dependente diretamente das condições edafo-climáticas para crescimento e desenvolvimento, bem como para expressar seu potencial produtivo em dada localidade. No caso particular de cereais de inverno e verão, a umidade do solo e a temperatura do solo constituem os principais fatores que governam a embebição de água pela semente, a germinação e emergência das plântulas em campos de produção de milho (COSTA; PINHO; PARRY, 2008).

O suprimento inadequado de água no solo limita a produtividade da cultura mais do que qualquer outro fator abiótico, assim como a habilidade das raízes em encontrar água em solos com baixos níveis de umidade determinam seu sucesso e sobrevivência (SPOLLEN et al., 2008). No período compreendido entre a semeadura, germinação e emergência, observou-se que taxa de crescimento da raiz primária do milho reduziu cerca de 1/3 da original quando a planta foi exposta a tensões superiores a -1,6 MPa (SPOLLEN et al., 2008). Reconhecida a

importância que o suprimento de água exerce sobre a produtividade agrícola a tolerância a estresses hídricos tem sido objeto de pesquisa em nível de micropropagação, buscando-se *in vitro* plantas que apresentem resistência a índices relativamente baixos de disponibilidade de água e/ou que desempenhem eficiência no uso de água (LOPES et al., 2011; RAI et al., 2011). Complementarmente, tem-se proposto indicadores de status de água no solo como o WP “Water Productivity” ou produtividade da água, o qual relaciona o consumo real de água da cultura de maneira racional e econômica com o consumo hídrico de maior eficiência possível, considerando-se a interferência dos demais fatores do meio agrícola que limitam a produção (ALI; TALUKDER, 2008).

Há muito tempo se discute e se investiga o fato de que o crescimento e a produtividade agrícola são uma função direta e linear da disponibilidade de água no solo, tendo sido observado significativas quebras de produção relativa advindas da depleção de água no solo (HAGAN, 1955).

Esta relação é evidenciada principalmente quando se associa a disponibilidade de água com a absorção de determinado nutriente. No caso específico da cultura do milho, onde o nitrogênio é um dos elementos de maior demanda de absorção, e sendo este macronutriente absorvido por fluxo de massa, ou seja, diretamente dependente das condições hídricas e da demanda evaporativa da atmosfera, reduções no conteúdo de água disponível para as plantas comprometem a expressão da produtividade potencial em dado local (Tabela 1).

Tabela 1 - Produtividade de milho em função da tensão de água no solo e da dose de nitrogênio aplicada. Adaptado de HAGAN, 1955.

Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Produtividade de milho (kg ha ⁻¹)		
	Baixa tensão de água no solo (0,9 atm)	Alta tensão de água no solo (4,1 atm)	Quebra de Produção kg ha ⁻¹ (%)
0	3,9	4,4	-1,5
45	6,0	5,5	0,5 (8,33%)
135	8,2	6,6	1,6 (19,51%)
269	8,9	7	1,9 (21,35%)

É notória a interferência direta do sistema de cultivo e do manejo da cultura sobre os componentes de rendimento, principalmente na cultura do milho (ALIZADEH; NEJAD; SAJJADIAN, 2011; SAJJADIAN; ALIZADEH; NEJAD, 2011; YAO et al., 2009).

A disponibilidade de água no solo afeta o crescimento das plantas de maneira diferenciada de acordo com a espécie estudada. Em muitos casos, uma leve tensão de água no solo é desejável para desencadear estímulo ao crescimento radicular, quando se observa comportamento diferencial entre as espécies (PRITCHARD, 1994). No caso específico da cultura do milho, os referidos autores constataram redução significativa do crescimento radicular com tensão de água no solo de 1,6 MPa, quando a tensão de turgor da raiz passou a ser de 0,3 MPa.

A umidade do solo constitui fator que afeta diretamente o chamado índice de cone, ou mais comumente conhecido como resistência mecânica à penetração. A manutenção do solo, em diferentes densidades, sob níveis de saturação próximos ao da capacidade de campo, favorece o crescimento e desenvolvimento radicular.

De acordo com KONOPKA et al. (2009), a densidade do solo quando relacionada com a umidade do solo afeta diretamente o crescimento radicular em profundidade no perfil do solo.

Quando se procede a análise conjunta de diferentes espécies cultivadas deve-se levar em consideração os aspectos fisiológicos inerentes a cada espécie em estudo. No particular a cultura do milho e da soja, enquanto o milho tende a ter um sistema radicular mais profundo e mais amplo (distante da base da planta) explorando grande volume de solo, a soja mantém seu sistema radicular mais concentrado próximo à base da planta a uma profundidade menor em torno de 0,3 m (GAO et al., 2010). Este aspecto se torna mais relevante quando se considera a determinação da CAD explorada pelas raízes em projetos de irrigação.

A evapotranspiração é o consumo de água que, quando ocorre em condições de umidade adequada do solo, permite ganhos de matéria seca e, por consequência, é parâmetro utilizado para modelagem e estimativa de produtividade atingível de diversas culturas agrícolas. As variações no regime vigente dos elementos meteorológicos locais ao longo de diferentes anos agrícolas afetam diretamente o cálculo dos balanços hídricos e, portanto, a estimativa de água disponível para as demandas evapotranspiratórias e, por fim, a produtividade final da cultura. Em função disto ARAUJO et al. (2011), lançando mão da técnica de modelagem para estimar a produtividade da cultura da soja, optou pelo agrupamento dos dados experimentais em diferentes anos agrícolas para melhorar a confiabilidade dos resultados a serem obtidos.

As condições meteorológicas locais governam as taxas de evapotranspiração, quando se considera o efeito combinado de dois processos distintos: evaporação e transpiração. Sabe-se

que o segundo processo é influenciado diretamente pelas características das plantas, pelo suprimento de água no solo e pelas condições atmosféricas reinantes. No milho, assim como também em outras culturas, a transpiração vegetal é função do conteúdo de água no solo e do regime vigente dos elementos meteorológicos em dada localidade em associação com as condições de nebulosidade e transmitância global da atmosfera (NOVÁK; HURTALOVÁ; MATEJKA, 2005).

A partir dos resultados obtidos, NOVÁK et al. (2005) definiram que os fatores atmosféricos afetaram fortemente a relação entre a transpiração real e potencial (transpiração relativa) sob condições de estresse de água. Por outro lado, quando o conteúdo de água no solo foi suficientemente elevado, a transpiração relativa do milho praticamente não foi condicionado pelo regime vigente dos elementos meteorológicos locais.

Por outro lado, a evaporação, segunda componente do processo de evapotranspiração, é função direta da temperatura do solo e do manejo do solo. LIU et al. (2013), estudando as variações de sistemas de cultivo (convencional, mínimo e direto) em modelos de estimativa da produtividade de milho e soja, observaram que, conforme esperado, a temperatura do solo variou significativamente com as flutuações da temperatura do ar, não tendo sido observado diferenças consideráveis de produtividade entre os sistemas de manejo.

O CWSI – Crop Water Stress Index (índice de estresse de água de uma dada cultura) é função direta do VPD –Vapor Pressure Deficit (déficit de pressão de vapor) associado à temperatura da cultura, ambas variáveis do meio físico utilizadas para determinação do efeito do estresse hídrico sobre crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal (CÁRCOVA; MADDONNI; GHERSA, 1998). O CWSI constitui variável adequada para indicar o efeito da deficiência de água no solo sobre a produtividade da cultura do milho, variando, portanto, numericamente em função do híbrido utilizado, sendo menor quanto maior a disponibilidade de água no solo.

Outro indicador de disponibilidade de água para as plantas é o FASW - Fraction of Available Soil Water (Fração da água disponível no solo), que em média varia de 0,2 a 0,8 para a maioria das culturas. O milho apresenta valores de FASW da ordem de 0,75, havendo relação direta entre o referido índice e os demais indicadores de crescimento, produtividade e desenvolvimento (WU; HUANG; WARRINGTON, 2011).

Parâmetros fisiológicos de cultura são normalmente variáveis de espécie para espécie, principalmente quando se comparam metabolismos do tipo C₃ e C₄ entre si (TAIZ; ZEIGER, 2013). OTEGUI et al. (1995) constataram comportamento diferencial na resposta fisiológica do milho sob estresse hídrico, tendo sido observado aumento na eficiência do uso da água da cultura sob suprimento inadequado de água no solo. Porém, redução no número de grãos por espiga em função do aborto dos ovários sob condição de deficiência hídrica também foi reportada por esses autores. Com o objetivo de minimizar o efeito do estresse hídrico sobre a redução do potencial produtivo do milho, procedeu-se a aplicação de nutrientes – tal como de selênio (Se), verificando-se aumento expressivo na tolerância da cultura do milho ao estresse perante a aplicação do referido nutriente no solo (QIANG-YUN et al., 2008).

Dada a relação de dependência entre a eficiência do uso da água e a disponibilidade de água no solo para a cultura do milho, WANG et al., (2011) encontraram variações médias de eficiência no uso da água da ordem de 13,7, 13,6 e 12,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ sob manejo reduzido, direto e convencional, respectivamente. O sistema de plantio direto mantém de 8 a 12% mais água do que os demais tratamentos durante os períodos compreendidos entre a semeadura e a colheita, evidenciando, portanto, a existência de relação direta entre o sistema de cultivo, conteúdo de água no solo e parâmetros fisiológicos da cultura. Há que se considerar ainda que a utilização da água e a sensibilidade ao estresse hídrico constituem característica varietal, e que ainda podem sofrer ação local em função do regime hídrico regional (GUROVICH; RAMOS, 1985).

A eficiência do uso da água tem sido alvo de estudo de especialistas da área de genética e melhoramento de plantas, tendo sido reduzida de 153 mm para 100 mm, com expressivo aumento de produtividade (de 2,2 para 7,1 kg ha⁻¹, respectivamente) (CAMPOS et al., 2004). O milho possui índices de produtividade por unidade de água consumida (CWP – Crop Water Productivity), que é a relação entre a produtividade (kg ha⁻¹) e a evapotranspiração da cultura (m³ ha⁻¹), da ordem de 1,8 kg m⁻³ (1,1 a 2,7 kg m⁻³) (ZWART; BASTIAANSSEN, 2004). Valores mais baixos de CWP se encontram em torno de 0,4 a 0,7 kg m⁻³ (IGBADUN et al., 2006) e variam em função das condições ambientais, ou seja, do regime vigente dos elementos meteorológicos locais. Isto equivale a dizer que, para uma produtividade média de 10.000 kg ha⁻¹, são necessários de 7.000 a 18.000 m³ de água, ou seja, 7.000.000 a 18.000.000 L de água, ou ainda de 7.000 a 1.800 mm.

A título de comparação, para a cultura da soja os valores de CWP variam de 1,39 a 1,97 kg m⁻³ em sistemas agrícolas com deficiência hídrica, e de 1,87 a 2,33 kg m⁻³ em sistemas de cultivo sem deficiência hídrica (ARORA et al., 2011).

Pesquisas idealizadas para avaliar a produtividade da cultura do milho em função de variações nos atributos físicos do solo e na disponibilidade de água têm demonstrado efeitos consideráveis de tais variações sobre os componentes de rendimento do milho. No entanto, TUECHE; HAUSER, (2011) não identificaram efeitos significativos das alterações de manejo do solo nem sobre os principais atributos físicos do solo, e tampouco sobre a produtividade. Porém, vale destacar que as produtividades consideradas como padrão para a região estão extremamente aquém do potencial produtivo da cultura. Isto se deve em parte pela utilização de híbridos e pela adoção de tecnologias inadequadas para produção local, tendo sido obtido em média 1 Mg ha⁻¹ de grãos de milho na região dos Campos Gerais do Paraná, o que equivale a menos de 10% da produtividade média obtida pelos produtores na região considerada.

A matéria orgânica no solo exerce grande influência sobre a disponibilidade de água e nutrientes, bem como altera os atributos físicos do solo. Resultados de pesquisas comprovam que a adição de cama de frango (10 Mg ha⁻¹) reduz significativamente a densidade do solo, incrementando os teores de matéria orgânica no solo, a porosidade total do solo, a percolação da água no perfil e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica do solo. Da mesma forma, aumenta a retenção de água no solo a baixas tensões (entre 10 e 33 kPa), tendo sido observado aumento de produtividade das culturas, especialmente do milho (OBI; EBO, 1995).

Considerando a importância do conteúdo de água no solo para as culturas, em especial para a cultura do milho, cabe a proposição de estudos com o objetivo de investigar o efeito isolado do referido fator sobre a resposta biológica de espécies vegetais cultivadas em dada localidade. Assim sendo, MACHADO et al. (2000) quantificaram os efeitos significativos da disponibilidade de água no solo sobre a produtividade do milho, principalmente quando correlacionados com as taxas de evapotranspiração da cultura. No entanto, pelas análises realizadas em diversos estudos agrônômicos, a umidade do solo tem se mostrado como uma variável importante a ser considerada nesses estudos, além da adubação nitrogenada, tendo em vista que o processo de contato íon-raiz no particular ao nitrogênio se dá por fluxo de massa. O fluxo de massa é extremamente condicionado pelo suprimento hídrico do solo e pela demanda evaporativa da atmosfera, a qual por sua vez varia de acordo com a época de plantio.

De maneira geral, o estresse hídrico é um consistente redutor do potencial produtivo da cultura do milho, chegando a promover quebras de produção da ordem de 22 a 36% na matéria seca total e de 21 a 40% na produtividade, além de causar redução no número de dias para enchimento de grãos (NESMITH; RITCHIE, 1992b). É importante mencionar que os maiores danos proporcionados à produtividade do milho (cerca de 90% de quebra de produtividade) estiveram relacionados com estresse hídrico antes ou durante os subperíodos de pendoamento (antese) e espigamento (NESMITH; RITCHIE, 1992a). A deficiência hídrica pode gerar atrasos na antese de até 4 dias, dependendo do momento em que esta deficiência se verifica ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Porém, essa redução na duração do período reprodutivo do milho poderá não se reverter em quebra de rendimento biológico. (ABRECHT; CARBERRY, 1993). Na fase de enchimento de grãos, a ação do déficit hídrico pode estar associada à maior produção e ação de ácido abscísico (ABA) na divisão celular do endosperma, o que resulta em redução da produtividade final da cultura (OBER et al., 1991; WANG; MAMBELLI; SETTER, 2002).

Quando não se considera a ocorrência de estação seca definida, o manejo do solo e da cultura acaba se tornando menos importante e/ou impactante sobre a produtividade final das culturas. Culturas mais sensíveis ao estresse hídrico, como a soja na região de Ponta Grossa PR, não apresentaram diferenças de produtividade em função de diferentes práticas de manejo do solo, compreendendo os sistemas de plantio direto e convencional, no transcorrer de 11 anos de análise, pela baixa ocorrência de períodos com estresse hídrico (ARAUJO et al., 2009). Isto justifica a necessidade de se conduzir ensaios de campo em diferentes locais, épocas, sob diferentes condições de manejo de solo e cultura perante a utilização de diferentes materiais genéticos para que se possa aumentar a confiabilidade dos resultados de pesquisa e validar a recomendação de práticas culturais que poderão aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção do agricultor na região estudada.

Dada a importância do índice S e de sua relação com o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, CALONEGO; ROSOLEM (2011) testaram o efeito de sistemas de rotação com e sem escarificação sobre o índice S, obtendo valores superiores a 0,035 (MAIA, 2011) em profundidades superiores a 0,20 m. O maior efeito de S foi observado dentro do perfil compreendido entre 0 e 0,05 m. Os referidos autores enfatizam que, dependendo do sistema de rotação utilizado, os valores de S podem se tornar ainda maiores, ou seja, maiores do que o

limiar consagrado de 0,125, fato que denota a não necessidade de escarificação do solo como prática de manejo.

4 - Material e Métodos

Os experimentos de campo foram implantados a partir de março de 2014 em uma área no Campo Demonstrativo e Experimental da Fazenda Escola do Centro de Ensino Superior dos Gerais – CESCAGE, localizada às margens da Rodovia BR-376 km 503, Latitude 25° 10' 38,8416" S e Longitude 50° 6' 48,6799" O, altitude média de 820 m.

O clima da região de Ponta Grossa – PR é Classificado como Cfb segundo Köppen, clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2017).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico. Para uniformização das condições iniciais de cultivo foi implantada na área experimental a cultura da soja (outubro/2013), tendo a colheita sido realizada em março de 2014. Com base na análise química de solo com amostras coletadas após a cultura da soja (Tabela 2) procedeu-se a aplicação de calcário em superfície antes da implantação das culturas de inverno subsequentes, na dose de 1 Mg ha⁻¹, buscando-se obter V% equivalente a 60%.

Tabela 2 – Resultados da análise química de solo de amostras coletadas na área experimental do CESCAGE. Ponta Grossa, PR. 2013.

Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Silte / Argila	P mg dm ⁻³	C g kg ⁻¹	pH em CaCl ₂		
155	185	600	0,28	1,0	17,0	4,8		
Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹)								V %
Ca	Mg	K	Soma de bases	Al	H + Al	CTC efetiva	T	
1,8	1,0	0,9	2,89	0,3	6,21	3,19	9,1	31,75

Após a colheita da soja, foi feita a demarcação da área experimental para implantação das coberturas de inverno. Anteriormente à implantação das coberturas de inverno foram coletadas em cada bloco amostras indeformadas de solo em anel metálico de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura no ponto médio em 5 perfis de profundidade distintos (Figura 6 A): 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm, 30 a 40 cm, 40 a 100 cm, sequencialmente e sem a abertura de

trincheiras para determinação dos atributos físicos do solo, utilizando-se trado para coleta de amostras indeformadas (Figura 6 B).

A partir das amostras coletadas foram determinadas a densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade, bem como a curva de retenção de água sob diferentes potenciais matriciais.

A densidade do solo foi calculada pelo método do anel volumétrico. A microporosidade e a macroporosidade foram calculadas pelo método da mesa de tensão. Com o objetivo de determinar a curva de retenção de água foram utilizadas as tensões de 0 a -10 kPa com intervalos de -1 kPa, variando de -10 a -50 kPa com intervalos de -10 kPa, em mesas de tensão e variando de -100, -300, -400 e -700kPa em câmara de Richards (Soil Science Society of America, 1997; LIBARDI, 2005). Para as últimas tensões fez-se uso das câmaras de Richards localizadas no Laboratório do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR.

Para o ajuste da curva de retenção de água proposto por van Genuchten (1980) foi utilizado o software SWRC (DOURADO-NETO et al., 2000). Para a determinação do índice S (DEXTER, 2004a) foi elaborada uma planilha eletrônica, tendo por base os valores da equação de van Genuchten (1980) ajustada anteriormente.

O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas com três repetições, sendo que as coberturas de inverno (aveia preta, pousio, sem cobertura) constituíram as parcelas e as densidades populacionais da cultura do milho (50%, 75%, 100%, 125% e 150%) constituíram as subparcelas. A cobertura pousio foi constituída do resíduo da cultura anterior associado às plantas voluntárias de ocorrência aleatória, com variação de espécies e densidade de acordo com o banco de sementes da área.

O híbrido de milho utilizado foi o 30F53YH, da Du Pont Pioneer, com populações de: 40.000, 60.000, 80.000, 100.000 e 120.000 plantas ha⁻¹.

O ensaio foi repetido em três épocas de implantação durante duas safras agrícolas (2014/2015 e 2015/2016). Segundo a portaria MAPA nº 53, de 12 de julho de 2013 – Zoneamento Agrícola da Cultura do Milho para o Estado do Paraná, para o município de Ponta Grossa, a época recomendada para implantação da cultura do Grupo II (no qual o híbrido 30F53YH está inserido) em qualquer classe de solo, fica entre 01 de setembro e 31 de dezembro. Com o objetivo de avaliar as variações de cobertura e população de plantas da cultura sob diferentes condições meteorológicas, foram realizados ensaios em três épocas distintas, sendo a primeira e a última próximas aos limites do zoneamento, e uma terceira no meio do período.

Assim, as datas de implantação foram: 15 de setembro; 30 de outubro; 15 de dezembro - variáveis de acordo com as condições ambientais no momento da implantação.

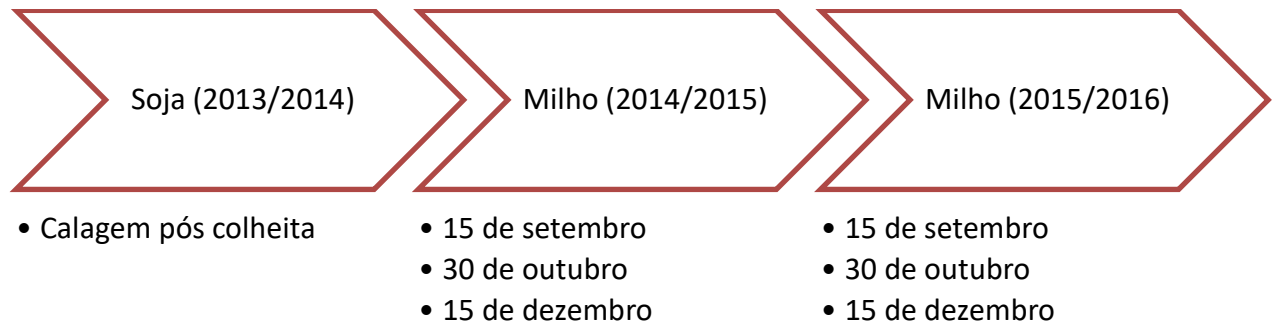
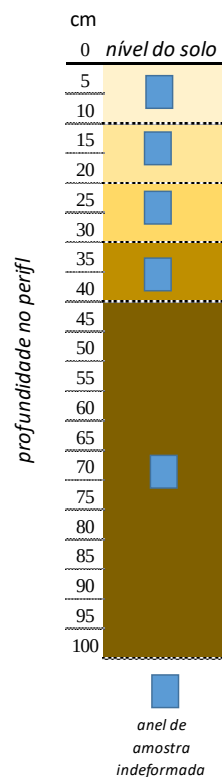


Figura 5: Etapas e atividades na condução do ensaio nas safras 2014/2015 e 2015/2016.



A



B

Figura 6: Indicativo de amostragem de solo: distribuição das amostras nas diferentes camadas (A); visão geral do anel de amostragem (B) (www.soilcontrol.com.br).

As principais características do híbrido em questão podem ser visualizadas na figura 7.



Figura 7 - Principais características do híbrido 30F53YH (www.pioneersementes.com.br).

O esquema do quadro de análise de variância, destacando os fatores época, cobertura e densidade populacional, pode ser observado na Tabela3.

Tabela 3 – Esquema do quadro de análise de variância discriminando os fatores estudados.

Fonte de Variação	Graus de liberdade
Época (E)	2
Blocos/Época	6
Cobertura (C)	2
Época x Cobertura (E x C)	4
Erro a	12
Densidade de semeadura (DS)	4
C x DS	8
DS x E	8
C x DS x E	16
Erro b	72
Total	134

Cada parcela teve as dimensões de 4,5 m x 50 m, sendo as subparcelas de 4,5 m x 10 m, conforme esquema proposto na Figuras 8 e 9.

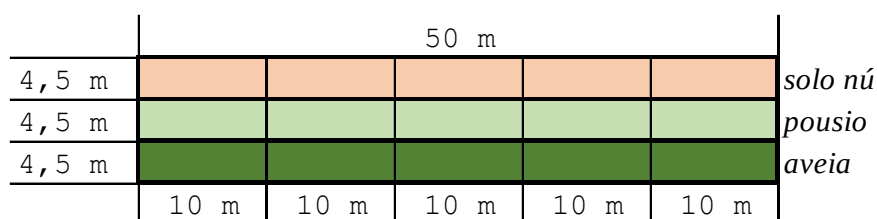


Figura 8 – Representação esquemática de parcela, subparcela e blocos para ensaio de campo.

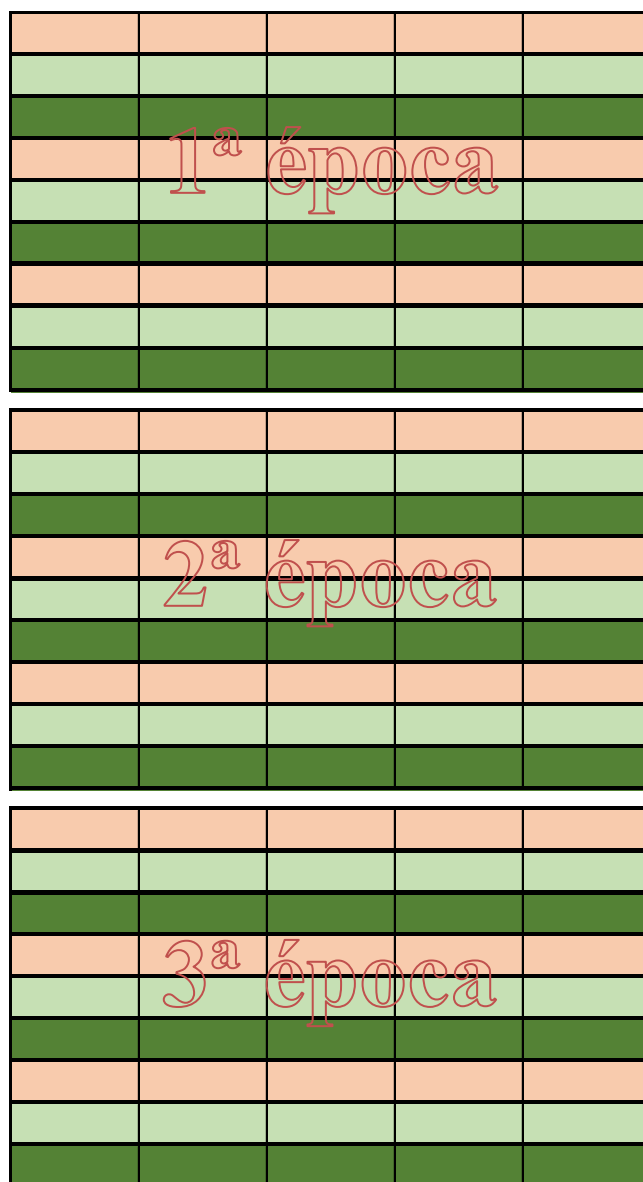


Figura 9 – Representação esquemática de parcela, subparcela e blocos para ensaio de campo.

As análises foram feitas respeitando as características dos fatores avaliados, cabendo, quando o caso, correlações, testes de comparação de médias, análises multivariadas e regressão. Utilizaram-se técnicas de estatística multivariada na redução de variáveis para análise (análise de fatores), assim como a regressão múltipla para avaliação combinada de efeitos. Para tanto os valores das variáveis foram padronizados para que apresentassem média 0 (zero) e desvio padrão 1 (um), removendo-se desta forma o efeito da variação de características entre os dados sobre a análise.

Foram consideradas como padrão de comparação as parcelas com a população ideal para o híbrido em questão (80.000 plantas ha^{-1}), assim como o sistema de plantio direto com cobertura de aveia preta para as três épocas de semeadura.

Em abril de 2014 foi implantada a cultura da aveia preta com semeadura utilizando semeadora Stara, com espaçamento de 0,13 m entre linhas, na densidade de 50 kg de semente por hectare, nas faixas pertinentes a esta cobertura. Deu-se na mesma época início ao manejo da área de solo nu que foi realizada de maneira química e/ou manual em intervalos mínimos de 15 dias (sem revolvimento do solo). Para a parcela de pousio, as plantas voluntárias foram avaliadas em 3 períodos antes da dessecação: 30 dias após a semeadura da aveia, 45 dias após a primeira avaliação e 7 dias antes da dessecação.

O manejo da área com herbicidas, para as parcelas com aveia e pousio, foi realizado 30 dias antes da semeadura da primeira época. Após o manejo e antes da semeadura de cada época foi avaliada a produção de matéria seca na área, coletando-se quadros (3 por parcela) de 0,5 x 0,5 m, secando-se em estufa e determinando-se posteriormente a massa em balança de precisão.

Eventuais manejos adicionais foram feitos nas demais épocas pré-semeadura, assim como a área de solo nu foi mantida desta forma até a semeadura da terceira época. Para as áreas de cobertura com aveia e pousio foram mantidas as dessecações de plantas voluntárias nas duas áreas até a 3ª época de implantação.

Para semeadura do milho foi utilizada uma semeadora Stara de 5 linhas, espaçadas em 0,45 m, sendo que a densidade máxima populacional (120.000 plantas ha^{-1}) foi utilizada e corrigida para germinação e vigor da semente, seguida de raleio 7 dias após a emergência para atingir as demais densidades, dispostas através de sorteio nas subparcelas. A adubação de base constitui-se de 400 kg ha^{-1} da fórmula 10-20-20 e em cobertura a aplicação de 120 kg ha^{-1} de ureia entre os estádios V4 e V6, aplicada em superfície (COELHO; FRANÇA, 2007). As demais práticas culturais (aplicações de inseticidas, herbicidas) foram adotadas em conformidade com o manejo convencional da cultura para cada época.

A área útil de cada parcela foi considerada como as 6 linhas centrais com 8 metros de comprimento. Foram avaliadas características morfológicas das plantas e índices relativos de crescimento e desenvolvimento em quatro plantas marcadas, escolhidas de maneira aleatória após a implantação da cultura. As avaliações foram semanais, após a emergência até o estágio V6, sendo que após este subperíodo de desenvolvimento foram realizadas avaliações nos estádios: pendoamento (R1) e pré-colheita (maturação fisiológica – R6) (Figura 10).

Ao final do ciclo a colheita foi feita de maneira isolada para as 4 plantas avaliadas e as demais plantas da área útil da parcela tiveram suas espigas colhidas e trilhadas separadamente para calcular a produtividade. Nas 4 espigas colhidas em separado foram avaliados os seguintes componentes de rendimento do milho: comprimento da espiga, número de grãos por fileira (3 fileiras por espiga), número de fileiras, massa de 1000 grãos e massa total de grãos por espiga (posteriormente ajustadas para 13% de umidade), além de massa e diâmetro do sabugo, massa da palha, sendo todas as massas frescas e secas (48 horas a 60°C em estufa ventilada).

Na safra 2015/2016, durante o período de floração da primeira época, foram coletadas 4 plantas aleatoriamente de cada população, no sistema de cultivo em plantio direto (sob palha de aveia), para determinação do comprimento e largura de folhas, utilizando-se uma trena, e da área foliar, utilizando-se um medidor de área foliar modelo Li-Cor 3000 (Li-Cor Corporation, USA).

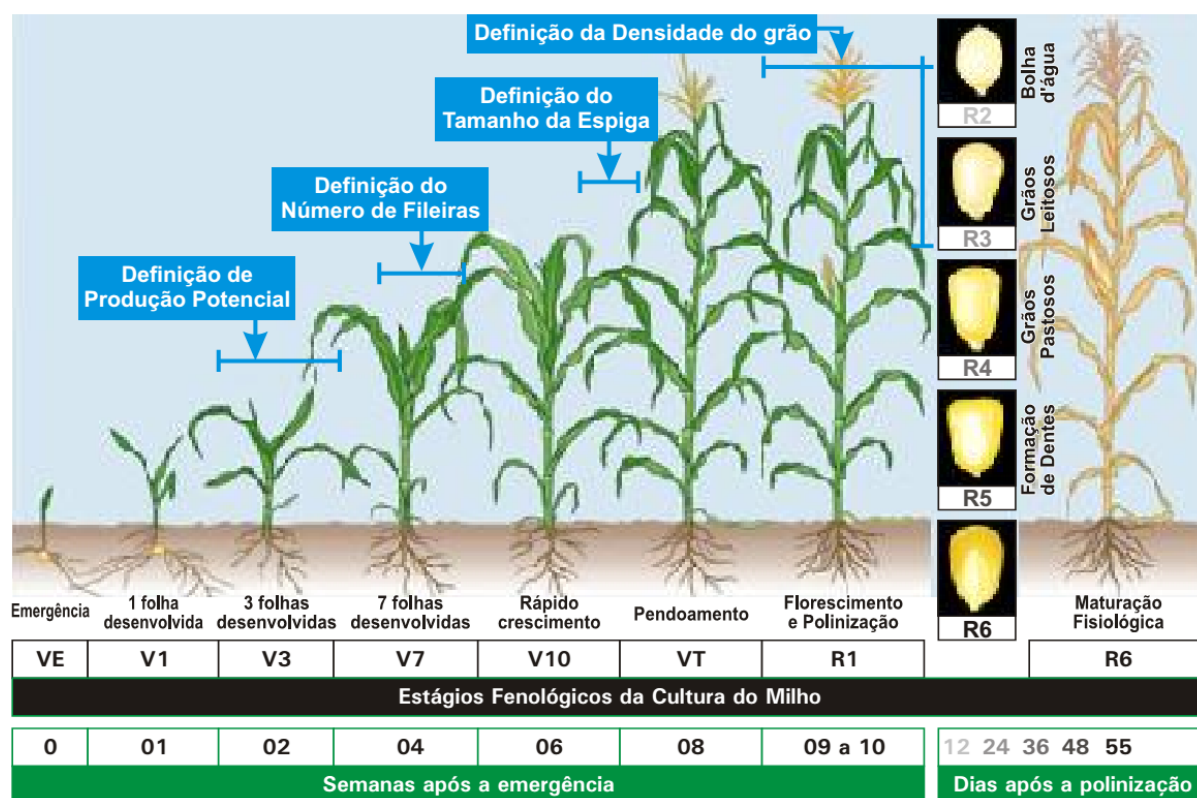


Figura 10 – Estádios fenológicos da cultura do milho.

Fonte: https://3.bp.blogspot.com/-j99unRUNQ6Q/VjKSqH5Q3rI/AAAAAAAAAIG0/_u8_PtI5RxY/s1600/fenologia_milho.jpg

Os dados meteorológicos foram obtidos com uma estação meteorológica automática da marca Campbell Scientific Inc., localizada ao lado da área experimental. A estação contava com

DataLogger CR-1000 responsável pelo registro dos sensores de saldo de radiação (R_n), radiação solar global (Q_g), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), temperatura do ar (T_{ar}), temperatura do solo (T_{solo}) medidas a 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m de profundidade, umidade relativa do ar (UR) e pressão barométrica (P_{bar}). A estação possuía um painel solar modelo SP10, o qual mantinha abastecida uma bateria modelo PS100 12 V. Os dados meteorológicos foram registrados com intervalo de registro de 15 minutos e posteriormente integrados. O saldo-radiômetro, sem cúpula, modelo NR LITE, marca Kipp & Zonen, foi instalado e nivelado a uma altura de 1 metro do nível do solo. Os valores de Q_g foram obtidos por um piranômetro de fotodiodo de silício, fabricado pela LI-COR, modelo LI-200X, de resposta espectral no intervalo de 0,4 e 1,2 μm , tendo sido instalado a 2 m do nível do solo. A fração PAR foi medida por meio de um sensor Quantum, modelo LI-190SB, de resposta espectral no intervalo entre 0,4 e 0,7 μm , marca LI-COR, instalado a 2 m do solo. A umidade relativa do ar e a temperatura do ar foram determinadas pelo sensor HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe, fabricado pela empresa Vaisala, tendo sido instalado igualmente a 2 m, em um abrigo meteorológico para evitar a incidência de chuva e radiação direta sobre o sensor. A medida de pressão barométrica foi efetuada por meio de um sensor CS 106, marca Vaisala, tendo sido instalado no interior da caixa de proteção do sistema de aquisição dos dados, para evitar exposição a chuva e radiação solar incidente. O registro das precipitações (mm) foi feito por um pluviômetro de báscula CSI modelo TB4, fabricado pela Hydrological Services Pty. Ltd., com precisão de 0,254 mm, tendo sido nivelado e instalado a 1,5 metros do solo.

Foram calculados os balanços hídricos para cada época de implantação da cultura, utilizando-se método de estimativa da evapotranspiração potencial Penman Simplificado e a CAD calculada a partir dos atributos físicos do solo obtidos da análise do solo para as amostras indeformadas em cada profundidade do solo.

4.1 – Cronograma de atividades

As atividades realizadas seguiram a cronologia exposta na Tabela 4.

Tabela 4 - Cronograma de atividades do ensaio.

Atividade	Data
Semeadura da soja	Outubro /2013
Colheita da soja	Março/2014
Calagem	Março/2014
Semeadura da aveia	Abril / 2014
Dessecação da área	Agosto / 2014
Semeadura 1ª Época – safra 2014/2015	15 de setembro de 2014
Semeadura 2ª Época – safra 2014/2015	30 de outubro de 2014
Semeadura 3ª Época – safra 2014/2015	15 de dezembro de 2014
Colheita 1ª Época – safra 2014/2015	Fevereiro de 2015
Colheita 2ª Época – safra 2014/2015	Março de 2015
Colheita 3ª Época – safra 2014/2015	Abril de 2015
Semeadura da aveia	Abril / 2015
Dessecação da área	Agosto / 2015
Semeadura 1ª Época – safra 2015/2016	15 de setembro de 2015
Semeadura 2ª Época – safra 2015/2016	30 de outubro de 2015
Semeadura 3ª Época – safra 2015/2016	15 de dezembro de 2015
Colheita 1ª Época – safra 2015/2016	Fevereiro de 2016
Colheita 2ª Época – safra 2015/2016	Março de 2016
Colheita 3ª Época – safra 2015/2016	Abril de 2016
Semeadura da aveia	Abril / 2016

4.2 - Modelos de crescimento vegetal – estudo de caso altura de planta de milho

O crescimento das plantas em altura segue um padrão, culminando com diferentes patamares, sendo que nas fases iniciais a velocidade de crescimento é menor, atingindo um máximo no pico do desenvolvimento vegetativo, e vindo a reduzir novamente próximo dos estádios de florescimento e frutificação.

Normalmente podem ser definidas de maneira clara as fases lag, log e estacionária, seguida quase sempre por uma fase de declínio. Com esta formação, diferentes modelos podem ser ajustados aos dados coletados, permitindo a determinação da variação do crescimento e desenvolvimento vegetais a partir destes. GARCÍA Y GARCÍA (2002) propôs em seu trabalho um modelo senoidal, considerando que o crescimento dos vegetais pode ser modelado a partir de seções crescentes desta função trigonométrica, em função do tempo (Equação ...).

$$y = y_{máx} \left\{ \frac{1}{2} \left[\text{sen} \left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi t}{t_{máx}} \right) + 1 \right] \right\}^{\alpha} \quad (1)$$

Utilizando-se as relações trigonométricas uma simplificação da equação acima pode ser obtida a partir das seguintes considerações:

Fazendo $a = \frac{3\pi}{2}$ e $b = \frac{\pi t}{t_{máx}}$ e admitindo-se as relações trigonométricas $\text{sen}(a + b) = (\text{sen}(a) \cdot \cos(b)) + (\cos(a) \cdot \text{sen}(b))$, onde $\text{sen}(a) = -1$ e $\cos(a) = 0$, a primeira função resume-se em:

$$y = y_{máx} \left\{ \frac{1}{2} [-\cos(b) + 1] \right\}^{\alpha} \quad (2)$$

$$y = y_{máx} \left\{ \frac{1}{2} [2\text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right)] \right\}^{\alpha} \quad (3)$$

$$y = y_{máx} \left\{ \text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right\}^{\alpha} \quad (4)$$

O ajuste desta função aos dados coletados a campo exige a sua linearização, a qual pode ser obtida a partir das seguintes operações:

$$\frac{y}{y_{m\acute{a}x}} = \left\{ \text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right\}^{\alpha} \quad (5)$$

$$\left(\frac{y}{y_{m\acute{a}x}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = \text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \quad (6)$$

$$\left(\frac{1}{\alpha} \right) \log \left(\frac{y}{y_{m\acute{a}x}} \right) = \log \left(\text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right) \quad (7)$$

Ajustando-se os dados a uma função de 1º Grau do tipo $\theta = c + dx$, onde θ representa $\log \left(\frac{y}{y_{m\acute{a}x}} \right)$ e x representa $\log \left(\text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right)$, pode-se determinar o valor de α . Além desses, pelo ajuste da função, surge um fator de forma “ f ”, o qual é multiplicado pelo resultado final do valor estimado, conferindo-lhe um ajuste. Desta forma, a função final fica sendo:

$$y = y_{m\acute{a}x} \left\{ \text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right\}^{\alpha} \cdot f \quad (8)$$

Da derivada da equação acima, em função de t , determina-se a taxa de crescimento para a variável em análise, em cada instante t :

$$y' = \frac{\left(\pi \cdot \alpha \cdot f \cdot y_{m\acute{a}x} \cdot \text{sen} \left(\frac{b}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{b}{2} \right) \cdot \left(y_{m\acute{a}x} \cdot \text{sen}^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right)^{\alpha} \right)}{t_{m\acute{a}x}} \quad (9)$$

Para simplificação do método, como uma função seno pode ser aproximada de uma função polinomial de 3º grau ($y = ex^3 + fx^2 + gx + h$), dá-se preferência para esta para adotar-se a segunda derivada da função e então encontrar o ponto de máxima, considerando que este vem a ser identificado pela raiz da função y'' . O ponto de máxima indica o momento em que a planta muda de uma taxa crescente para uma taxa decrescente de crescimento. As variações obtidas no modelo em função dos fatores α e f podem ser observadas na Figura 11.

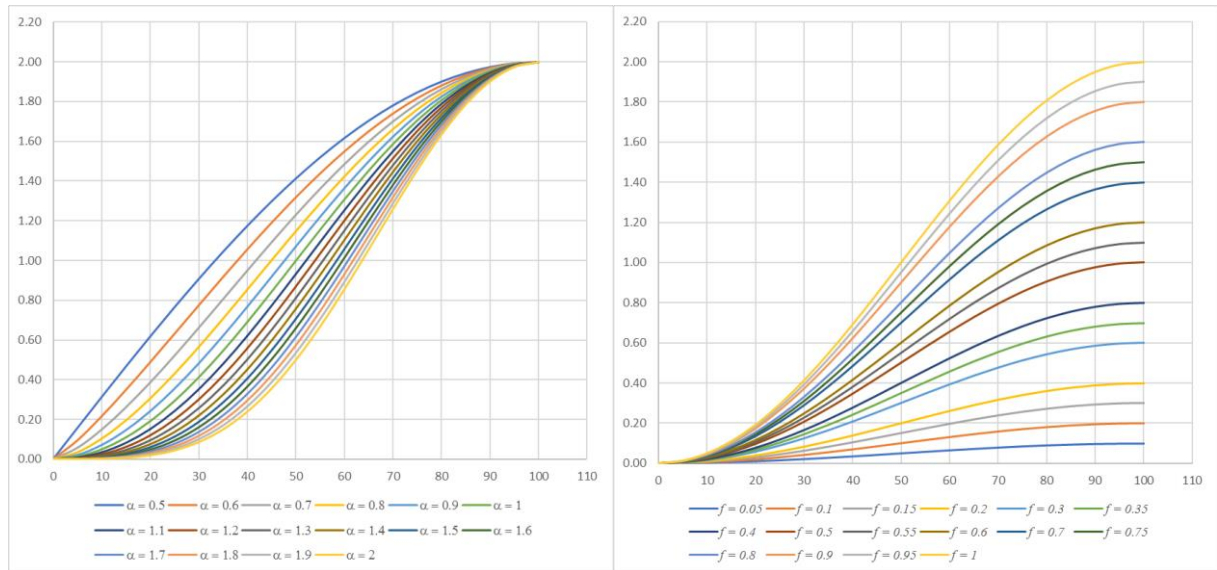


Figura 11 - Efeito das variações dos fatores α e f no modelo proposto de crescimento das plantas de milho.

5 - Resultados e Discussão

5.1 – Modelagem e determinação do índice de área foliar - IAF

Foram determinadas a largura e o comprimento da folha do milho (cm), a fim de analisar e caracterizar as variações destas dimensões em relação à posição da folha na planta, bem como identificar e quantificar efeito da densidade populacional sobre as variáveis medidas no experimento. Os valores médios de comprimento e largura das folhas são apresentados nas Tabelas 5 e 6 e na Figura 12.

Tabela 5 - Média e desvio padrão da largura (cm) e comprimento (cm) das folhas de milho sob diferentes populações do híbrido P30F53YH.

População	Largura (cm)		Comprimento (cm)	
	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão
40	8,30	0,83	64,32	9,06
60	9,32	0,87	74,40	8,51
80	8,39	0,78	72,20	9,94
100	8,55	0,83	66,56	9,61
120	7,63	0,84	65,36	9,84

Tabela 6 - Média e desvio padrão de largura (cm) e comprimento (cm) das folhas de milho em diferentes folhas do híbrido P30F53YH.

Folha	Largura (cm)		Comprimento (cm)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1	4,78	0,12	32,26	0,76
2	7,23	0,18	44,56	0,98
3	8,75	0,15	52,84	1,02
4	9,73	0,12	58,23	1,26
5	9,99	0,12	68,57	1,18
6	10,00	0,13	75,01	1,24
7	9,64	0,11	84,10	1,07
8	9,26	0,11	89,75	0,81
9	8,67	0,10	89,64	0,68
10	8,25	0,12	84,68	0,86
11	7,51	0,11	75,71	1,05
12	6,65	0,26	67,88	0,55

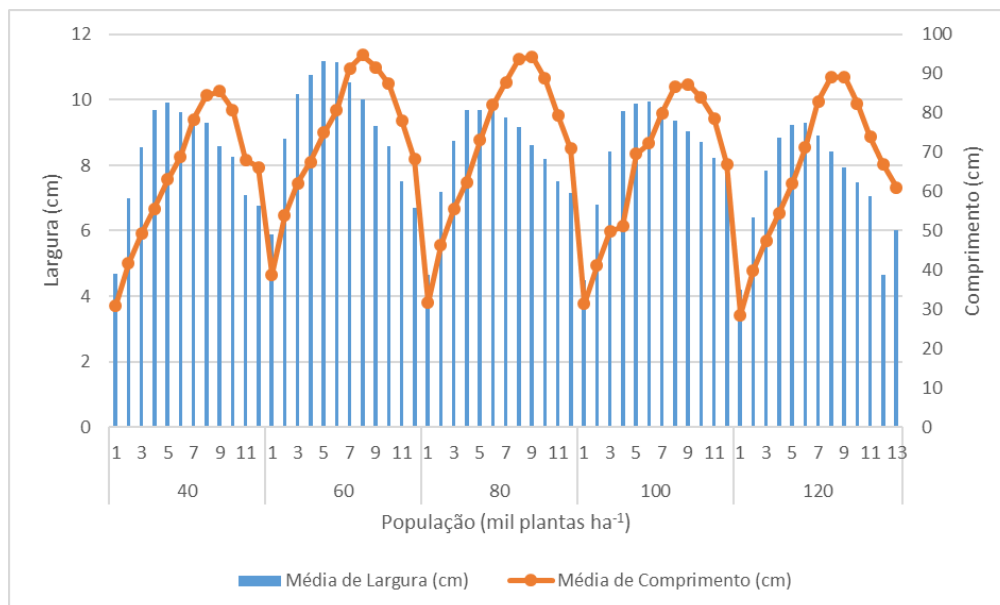


Figura 12 - Valores médios de largura e comprimento de folhas das plantas de milho sob diferentes populações do híbrido P30F53YH durante o estágio fenológico de floração (R1 – R3).

A folha do milho por seu formato típico apresenta a maior parte de seu comprimento mantendo a mesma largura, afilando-se no ápice (Figura 13). Assim, considerou-se em primeira aproximação que a área da folha do milho poderia ser proporcional a de um retângulo formado por seu comprimento e largura, acrescido de um triângulo em seu ápice (PEREIRA, 1987). Tal área ponderada por um fator de ajuste (JORDAN-MEILLE; PELLERIN, 2004) gera potencialmente diferentes valores para cada híbrido ou cultivar de milho (GUIMARÃES; SANS; MORAES, 2002; SCHWERZ et al., 2012), havendo uma relação linear entre a área da folha e o produto entre a largura (L) e o comprimento (C). Um dos modelos clássicos e de uso generalizado reportado na literatura é o de Montgomery (1911), o qual propõe que a área da folha seja obtida pelo produto entre largura e comprimento e uma constante k equivalente a 0,75 (SANDERSON; DAYNARD; TOLLENAAR, 1981).

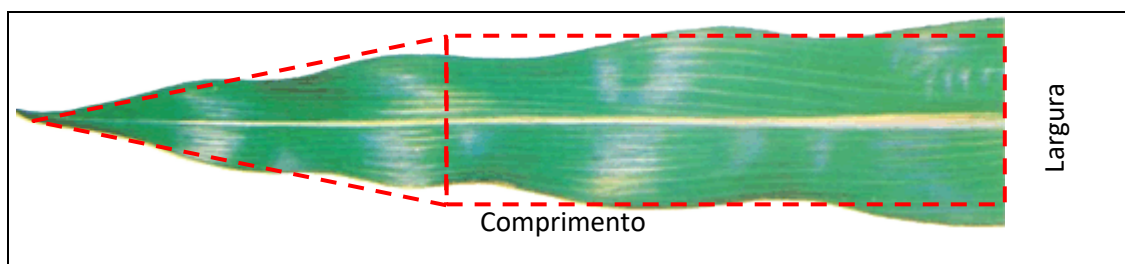


Figura 13 – Representação esquemática de uma folha de milho, considerando o comprimento e a largura no procedimento de cálculo da área foliar. PEREIRA (1987).

Para a determinação de um novo fator de forma que atendesse as características específicas do híbrido P30F53YH, nas condições de cultivo, primeiramente explorou-se o efeito isolado e de interação da população e posição da folha sobre suas principais características morfológicas.

A análise de variância com aplicação do teste F não identificou efeito de interação entre as diferentes populações de plantas (mil plantas ha^{-1}) e as medidas de comprimento e largura de folha de milho (cm).

Na análise de regressão para os dois fatores estudados isoladamente, observou-se que houve efeito da população de plantas sobre a largura e o comprimento das folhas (Figura 14), havendo tendência de variações de acordo com a população, de maneira mais pronunciada para o comprimento em relação à largura das folhas, estando em consonância com resultados obtidos por SONG et al.(2016) e STEIN; MIGUEZ; EDWARDS (2016).

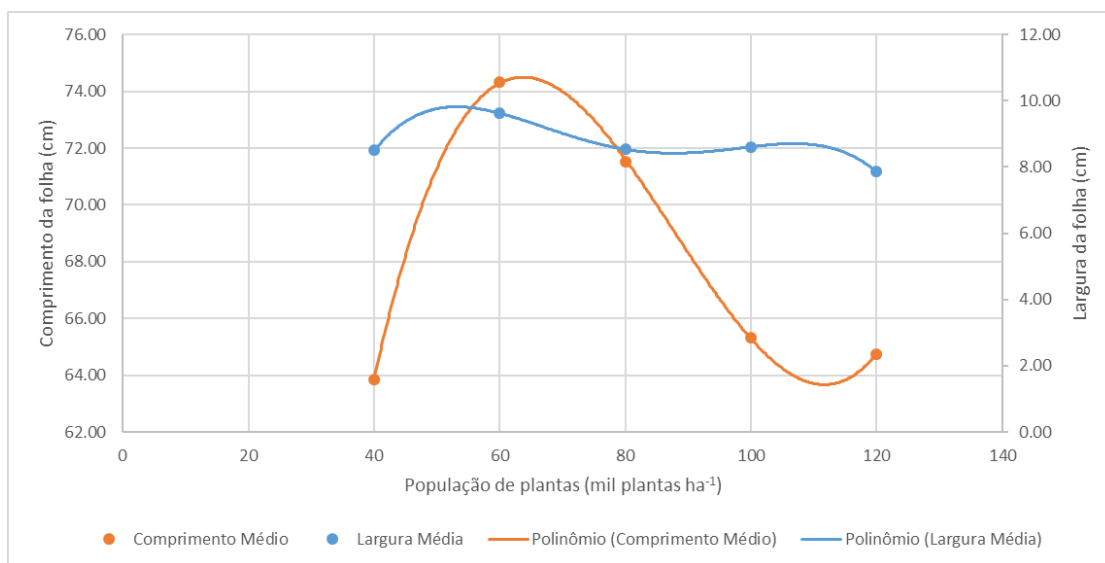


Figura 14 - Variação do comprimento (C - cm) e largura (L – cm) da folha do milho em função da população de plantas do híbrido P30F53YH.

Também pode ser observado efeito significativo da posição da folha sobre as variações de comprimento e largura (SONG et al., 2016). As folhas tenderam a ficar, da mais alta para a mais baixa na planta, mais compridas e mais estreitas a partir da folha 7 (Figura 15).

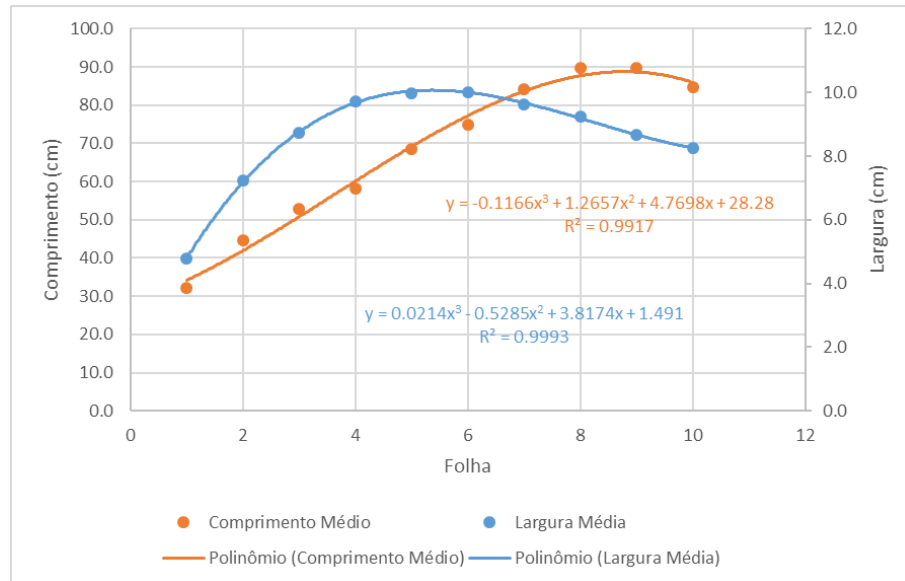


Figura 15 - Efeito da posição da folha na planta sobre o comprimento (cm) e largura (cm), determinados no período de antese, para o híbrido P30F53YH.

Na determinação da área total das folhas das plantas de milho observou-se que a população apresentou efeito significativo sobre o valor total da área das folhas [$S(m^2)$], ajustando-se a um modelo quadrático (Equação 10), com ponto de máxima próximo sob a população de 75,5 mil plantas ha^{-1} .

$$S(m^2) = -0,000455025.P^2 + 0,03574.P + 3,95777 \quad (10)$$

$$(R^2 = 0,86658 \text{ (} p < 0,05 \text{)})$$

Sendo para o modelo acima $S(m^2)$ o somatório da área das folhas de uma planta de milho, dada em metros quadrados, e P a população, expressa em mil plantas por hectare (Figura 16).

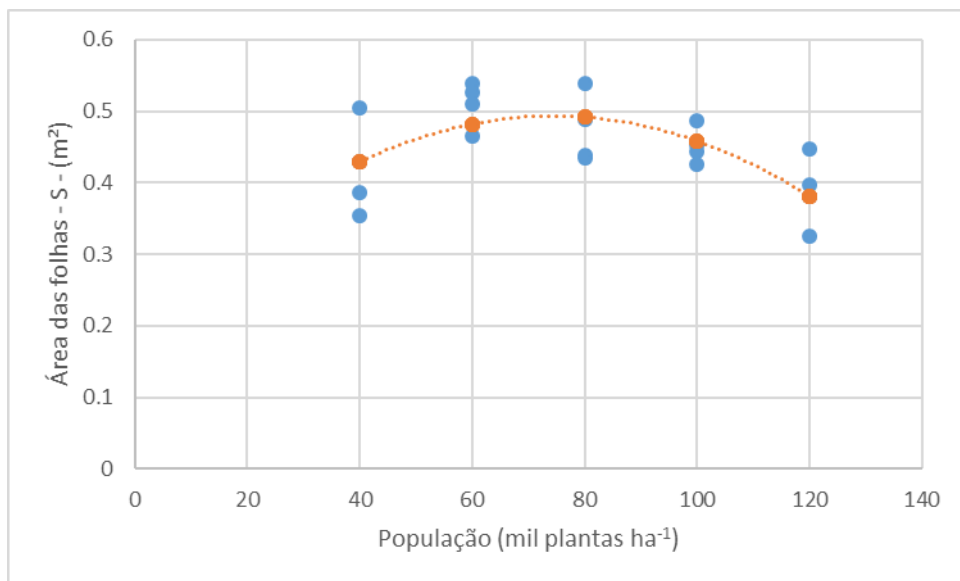


Figura 16 - Variação da área total das folhas das plantas de milho ($S - m^2$) em função da população de plantas para o híbrido P30F53YH .

Avaliando-se a posição das folhas na planta e a sua respectiva área, considerando que a folha 1 seja a primeira no ápice da planta e as demais identificadas de maneira crescente descendente, fotossinteticamente ativas nos estádios fenológicos de floração até enchimento de grãos (fase em que as plantas foram avaliadas (BORRÁS et al., 2007)), observou-se que não houve efeito de interação entre as diferentes populações e a posição das folhas, havendo efeito isolado de população e posição das folhas na planta (CAO et al., 1988).

De acordo com MANSFIELD; MUMM (2014), além do ângulo de inserção e do efetivo número de folhas, a área foliar total associada à área de folhas da posição superior da condiciona marcadamente a expressão da produtividade potencial do milho, principalmente sob alta densidade populacional, razão pela qual o número de folhas e sua posição assumem grande importância na modelagem efetiva do IAF. No entanto, é válido ressaltar que existe potencial efeito da população sobre a altura de inserção da espiga na planta, conforme relatado por PENARIOL et al. (2003).

Assume-se o mesmo observado na análise prévia de que a população de plantas exerce efeito expressivo sobre a área da folha (m^2), podendo-se afirmar que, pelo modelo de regressão obtido pelo ajuste dos dados experimentais, a maior área foliar é representada pela folha 7, considerando a variável número da folha como sendo numérica e discreta, assumindo somente posições inteiras (Figura 17).

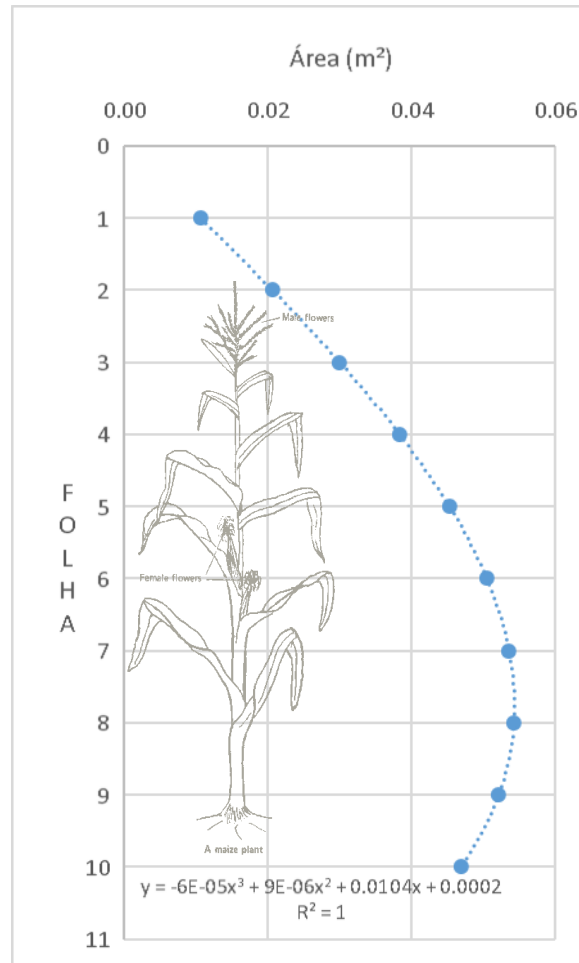


Figura 17 - Área das folhas (m²) em relação a sua posição na planta para o híbrido P30F53YH.

A partir do efeito isolado da população e posição da folha sobre os componentes de rendimento do milho, bem como da aproximação da área foliar obtida através da multiplicação entre largura (cm) e comprimento (cm) da folha (CL), assume-se que para cada folha em particular de cada planta de milho esta relação será válida, desde que haja correlação forte entre a área foliar assim calculada e a área real da folha obtida por intermédio de métodos de integração. Sob posse destas informações obteve-se uma nova função e um novo fator de forma ($k = 0,649$) que permite estimar a área da folha do milho, híbrido P30F53YH, em função da largura e do comprimento da folha (Figura 18).

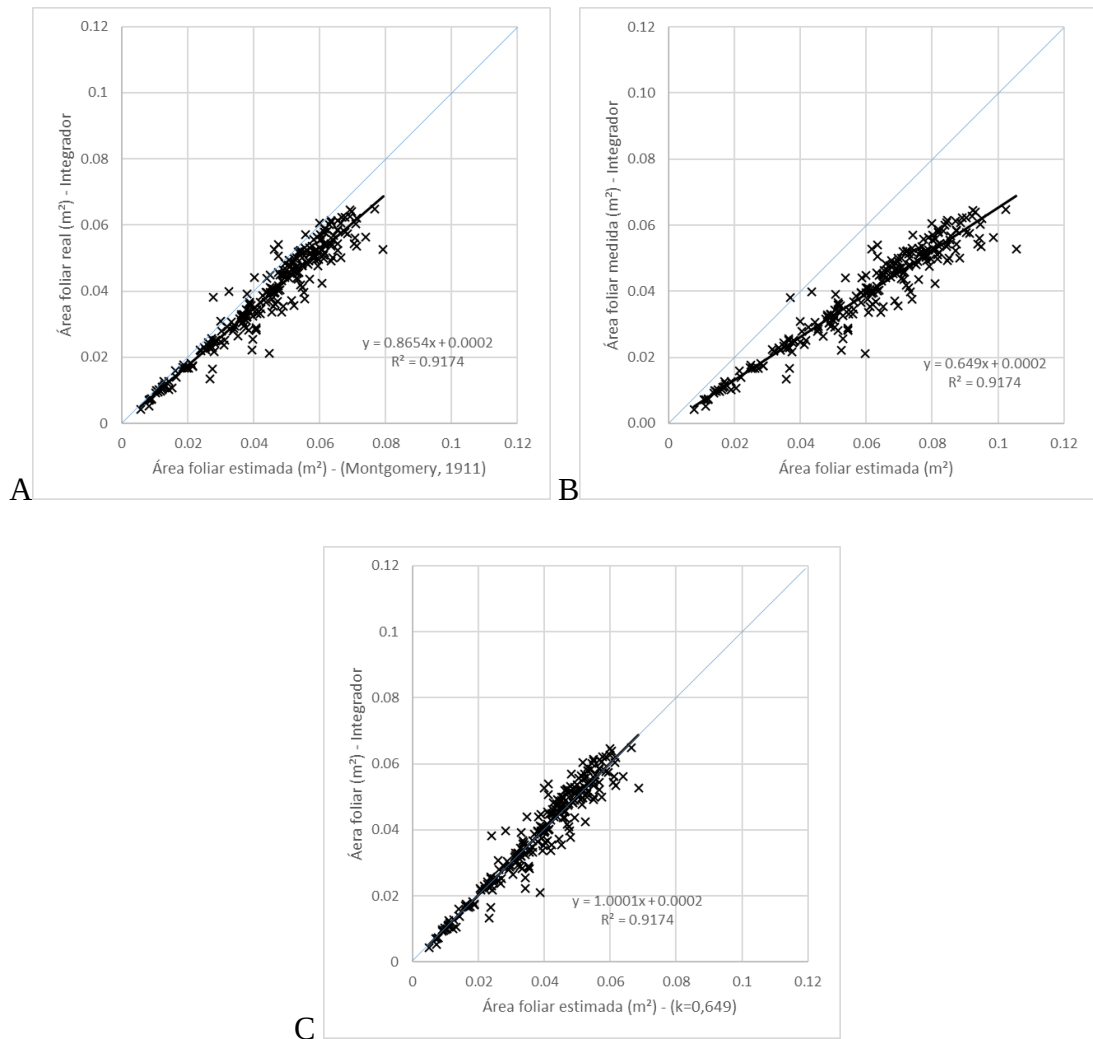


Figura 18 - Relação entre a área foliar real (S) (cm²) e o produto entre comprimento (C) e largura (L) da folha do milho, cultivar P30F53 YH, pelo modelo proposto por Montgomery (1911) (A), pela relação entre área foliar real e o produto LC (B) e pelo modelo ajustado (k=0,649) (C).

O modelo obtido apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9174 ($p < 0,05$), e um erro médio quadrático de 0,004371 m², com distribuição de resíduos aleatória, conforme observado na Figura 19.

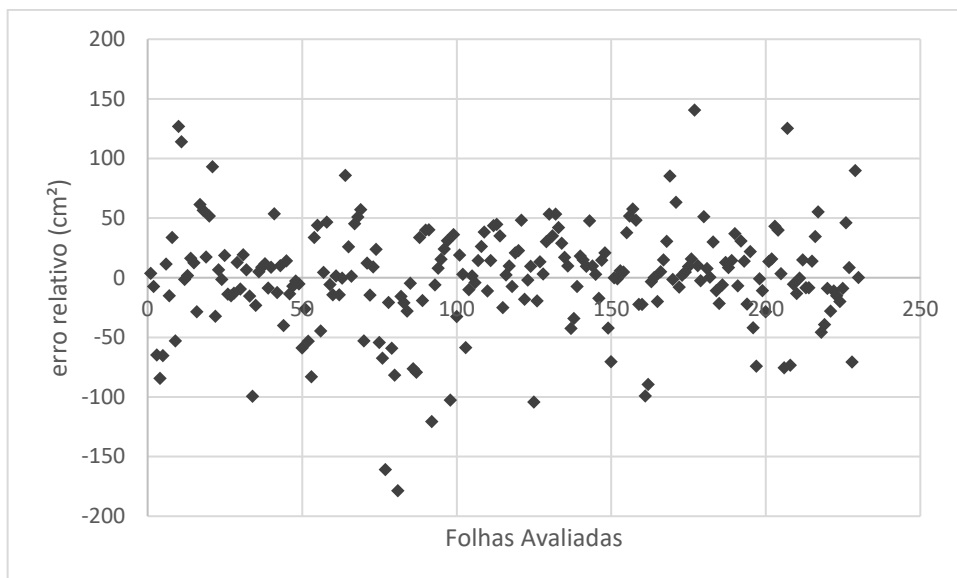


Figura 19 - Distribuição dos resíduos da área foliar (cm^2) estimada pela função proposta por Montgomery (1911) ($k=0,649$), para o híbrido P30F53YH.

Para o IAF a análise de regressão foi igualmente significativa para a população, no entanto com uma tendência diferente da área foliar, onde o IAF mostrou-se crescente com o aumento das populações, variando de 1,67 a 4,65, atingindo seu ponto máximo na população de 120 mil plantas ha^{-1} (Figura 20), corroborando com os resultados obtidos por BAVEC; BAVEC (2002) e REN et al. (2016). A correlação positiva entre o IAF e a população de plantas é justificada pelo fato de que a redução na área foliar das plantas é menos expressiva do que o aumento efetivo da população de plantas.

No entanto, considerando-se ainda o potencial efeito de medidas biométricas sobre as relações fonte/dreno geradas pelo aumento da área foliar e consequente incremento de IAF decorrentes do aumento dos níveis de população (BORRÁS; MADDONNI; OTEGUI, 2003), é possível que sejam observadas flutuações da produção por planta e, eventualmente, da produtividade final do milho.

O modelo proposto sugere que o ponto de máxima estaria além de 120 mil plantas ha^{-1} , o que não pode ser considerado válido nesta situação por encontrar-se fora do limite efetivamente avaliado no ensaio.

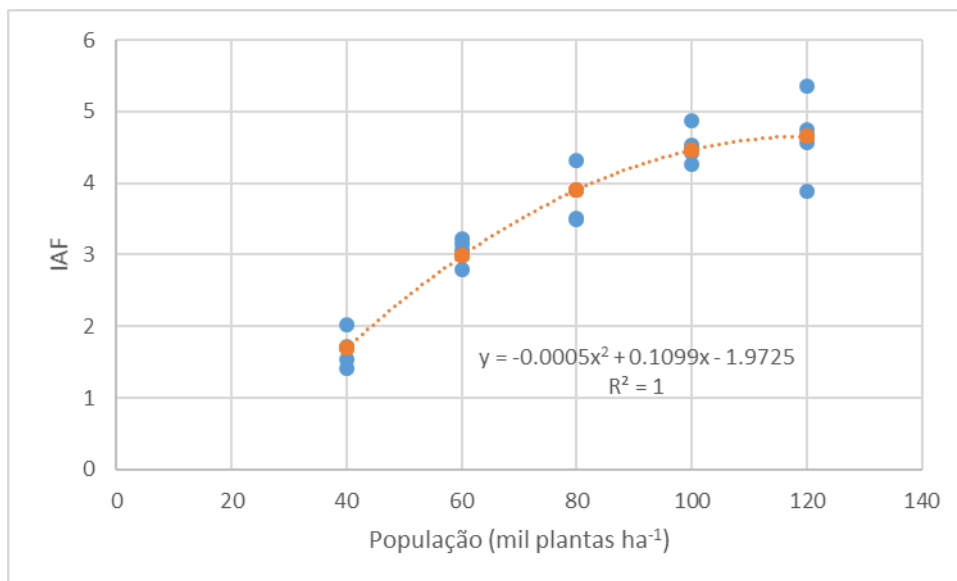


Figura 20 - Variação do índice de área foliar do milho (IAF) em função da população de plantas.

Na maioria das plantas avaliadas (65% do total), as folhas da base da espiga foram a de número 7, sendo as demais com espiga na folha 6. Assim sendo, propôs-se que a área foliar da planta pode ser obtida a partir da medida biométrica de uma única folha, sendo esta a mais representativa (CHEN et al., 2014). A folha de maior representatividade é a folha da espiga (F_{ESP}) por apresentar maior área dentre as demais. De maneira similar SUBEDI; MA (2005) enaltecem a importância da folha da espiga na relação fonte-dreno, bem como a área foliar acima desta folha durante o período pós-floração e de enchimento de grãos de modo a definir o potencial produto da espécie em estudo. Existem outras abordagens para a determinação do IAF, valendo destacar que relações lineares entre o IAF e a constante térmica e altura das plantas de milho têm sido encontradas, conforme relatado por DJAMAN et al. (2013).

Não se constatou efeito da população sobre a posição da folha da espiga, o que permite que as avaliações fitotécnicas, referentes à biometria da cultura do milho, sejam feitas de maneira independente sob qualquer nível de população de plantas.

A ocorrência da folha da espiga na posição 6(0) ou 7(1) pode ser considerada como uma variável de Bernoulli, sendo p a probabilidade de ocorrência de valor 7(1), equivalente a 65% e q a probabilidade de ocorrência de valor 6(0) correspondente a 35%. Para o grupo de plantas avaliadas individualmente e de maneira independente, atribui-se a elas, quanto à posição da folha da espiga, uma sequência de várias distribuições de Bernoulli independentes, o que resulta

em uma distribuição binomial, cuja função densidade de probabilidade pode ser expressa pela equação 2.

$$f(k; n, p) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k} \quad (11)$$

A probabilidade de que a folha da espiga seja a folha 7, dado o fato de que a contagem se inicia do ápice para a base e que $p = 0,65$ e $q = 0,35$ em no mínimo $k = 30$ de $n = 60$ plantas avaliadas pode ser aproximada pela função descrita pela equação 3.

$$f(k; 60; 0,65) = \sum_{k=30}^{n=60} \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k} \quad (12)$$

Assim, aplicando-se os valores supracitados na função densidade de probabilidades da distribuição binomial, a probabilidade de que pelo menos 50% das plantas apresente a folha 7 como sendo a folha da espiga é de 99,41%, permitindo-se assim que esta folha possa ser selecionada para estimar a área foliar da planta e que o número de folhas total dessa planta possa ser determinado. O modelo proposto na equação 13 apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,778 ($p < 0,05$) e um erro quadrático médio da ordem de 0,026223 m² (Figura 21).

$$S(m^2) = -0,11715 + 0,013995.NF + 7,685579.S_{FE} \quad (13)$$

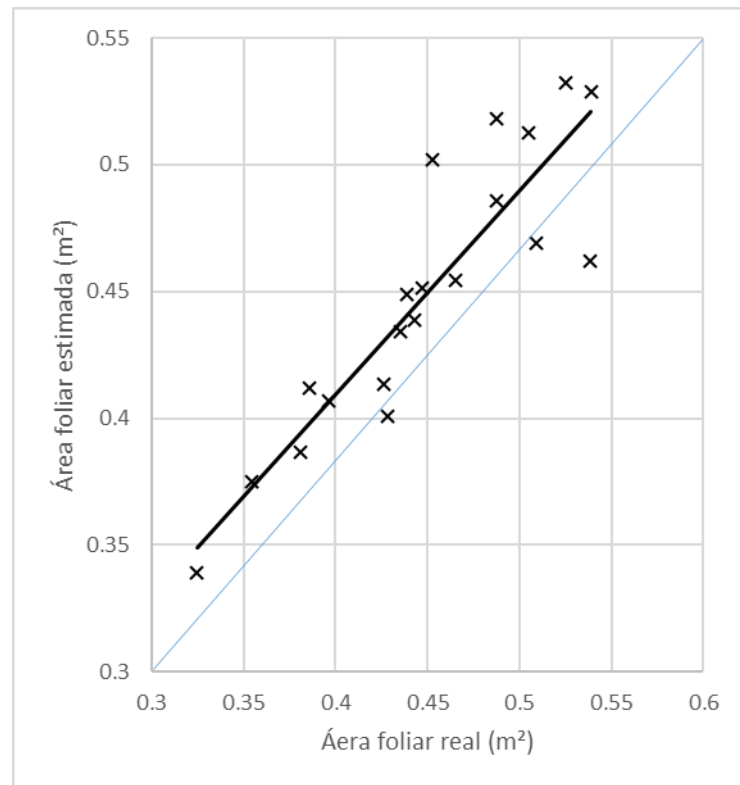


Figura 21 - Relação entre área da folha da espiga (SFE – m²) e a área total da planta (S – m²) para o híbrido P30F53YH durante o estágio de floração do milho (R1 a R3).

5.2 – Avaliação dos atributos físicos do solo

Avaliando-se os resultados das análises físicas do solo da área experimental observou-se que não houve variação textural nem tampouco de densidade do solo entre as três distintas áreas, épocas de implantação da cultura, bem como entre os blocos dentro das épocas e entre as profundidades de coleta das amostras de solo (0,10 m, 0,20 m, 0,30 m, 0,40 m e 0,70 m) (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 7 - Atributos físicos do solo em função da época de semeadura na safra 2014/2015 (Época I) e profundidade de coleta das amostras de solo. Ponta Grossa, PR.

Época	Profundidade (cm)	N	Variável	Média	Sp	Mínimo	Máximo
I	10	3	Areia (g kg ⁻¹)	87 ±	1,26	85,50	89,50
			Argila (g kg ⁻¹)	633 ±	33,33	600,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	280 ±	32,60	214,50	314,00
			Densidade (g cm ⁻³)	0,89 ±	0,06	0,82	1,01
			DMF (µm)	9,74 ±	7,86	0,52	25,39
	20	3	Areia (g kg ⁻¹)	91 ±	5,07	82,50	100,00
			Argila (g kg ⁻¹)	500 ±	57,74	400,00	600,00
			Silte (g kg ⁻¹)	409 ±	55,01	310,00	500,00
			Densidade (g cm ⁻³)	0,95 ±	0,06	0,85	1,06
			DMF (µm)	39,98 ±	22,62	5,14	82,40
	30	3	Areia (g kg ⁻¹)	89 ±	3,55	82,00	93,50
			Argila (g kg ⁻¹)	567 ±	66,67	500,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	344 ±	63,17	218,00	408,50
			Densidade (g cm ⁻³)	1,05 ±	0,06	0,94	1,13
			DMF (µm)	25,91 ±	2,63	21,65	30,70
	40	3	Areia (g kg ⁻¹)	81 ±	3,44	74,00	85,50
			Argila (g kg ⁻¹)	567 ±	120,19	400,00	800,00
			Silte (g kg ⁻¹)	353 ±	121,98	114,50	517,50
			Densidade (g cm ⁻³)	0,96 ±	0,04	0,89	1,03
			DMF (µm)	213,56 ±	155,36	23,37	521,45
	70	3	Areia (g kg ⁻¹)	80 ±	2,67	75,00	83,00
			Argila (g kg ⁻¹)	667 ±	33,33	600,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	253 ±	32,08	217,00	317,00
			Densidade (g cm ⁻³)	1,03 ±	0,08	0,91	1,17
			DMF (µm)	274,61 ±	125,22	114,54	521,45

Tabela 8 - Atributos físicos do solo em função da época de semeadura na safra 2014/2015 (Época II) e profundidade de coleta das amostras de solo. Ponta Grossa, PR.

Época	Profundidade (cm)	N	Variável	Média	Sp	Mínimo	Máximo
II	10	3	Areia (g kg ⁻¹)	92 ±	1,45	89,00	94,00
			Argila (g kg ⁻¹)	700 ±	57,74	600,00	800,00
			Silte (g kg ⁻¹)	208 ±	58,61	108,00	311,00
			Densidade (g cm ⁻³)	1,09 ±	0,04	1,02	1,15
			DMF (µm)	2,68 ±	0,68	1,43	3,76
	20	3	Areia (g kg ⁻¹)	90 ±	1,64	87,50	93,00
			Argila (g kg ⁻¹)	600 ±	115,47	400,00	800,00
			Silte (g kg ⁻¹)	310 ±	115,05	112,50	511,00
			Densidade (g cm ⁻³)	1,03 ±	0,08	0,95	1,19
			DMF (µm)	20,49 ±	9,30	4,19	36,41
	30	3	Areia (g kg ⁻¹)	90 ±	2,60	85,00	94,00
			Argila (g kg ⁻¹)	600 ±	100,00	500,00	800,00
			Silte (g kg ⁻¹)	310 ±	97,67	115,00	410,00
			Densidade (g cm ⁻³)	1,04 ±	0,10	0,85	1,14
			DMF (mm)	80,79 ±	40,57	4,22	142,31
	40	3	Areia (g kg ⁻¹)	85 ±	4,42	80,50	94,00
			Argila (g kg ⁻¹)	700 ±	57,74	600,00	800,00
			Silte (g kg ⁻¹)	215 ±	54,03	119,00	306,00
			Densidade (g cm ⁻³)	1,02 ±	0,05	0,96	1,13
			DMF (µm)	69,86 ±	37,21	18,86	142,31
	70	3	Areia (g kg ⁻¹)	85 ±	2,93	80,50	90,50
			Argila (g kg ⁻¹)	633 ±	88,19	500,00	800,00
			Silte (g kg ⁻¹)	282 ±	86,72	119,50	416,00
			Densidade (g cm ⁻³)	0,95 ±	0,06	0,85	1,04
			DMF (µm)	313,31 ±	111,01	142,31	521,45

Tabela 9 – Atributos físicos do solo em função da época de semeadura na safra 2014/2015 e (Época III) profundidade de coleta das amostras de solo. Ponta Grossa, PR.

Época	Profundidade (cm)	N	Variável	Média	Sp	Mínimo	Máximo
III	10	3	Areia (g kg ⁻¹)	90 ±	3,25	86,00	96,00
			Argila (g kg ⁻¹)	600 ±	57,74	500,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	310 ±	57,68	214,00	413,50
			Densidade (g cm ⁻³)	1,09 ±	0,08	0,94	1,19
			DMF (µm)	25,28 ±	23,50	0,38	72,26
	20	3	Areia (g kg ⁻¹)	91 ±	1,61	88,50	94,00
			Argila (g kg ⁻¹)	433 ±	66,67	300,00	500,00
			Silte (g kg ⁻¹)	476 ±	66,94	406,00	609,50
			Densidade (g cm ⁻³)	1,09 ±	0,03	1,03	1,14
			DMF (µm)	52,25 ±	25,32	8,14	95,85
	30	3	Areia (g kg ⁻¹)	97 ±	3,17	94,00	103,50
			Argila (g kg ⁻¹)	633 ±	66,67	500,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	270 ±	63,50	206,00	396,50
			Densidade (g cm ⁻³)	1,05 ±	0,04	0,97	1,11
			DMF (µm)	99,41 ±	88,41	7,42	276,18
	40	2	Areia (g kg ⁻¹)	87 ±	2,75	84,50	90,00
			Argila (g kg ⁻¹)	600 ±	100,00	500,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	313 ±	102,75	210,00	415,50
			Densidade (g cm ⁻³)	0,98 ±	0,16	0,82	1,14
			DMF (µm)	277,87 ±	243,58	34,28	521,45
	70	3	Areia (g kg ⁻¹)	87 ±	2,09	84,50	91,00
			Argila (g kg ⁻¹)	667 ±	33,33	600,00	700,00
			Silte (g kg ⁻¹)	246 ±	34,54	209,00	315,50
			Densidade (g cm ⁻³)	1,10 ±	0,01	1,09	1,12
			DMF (µm)	87,79 ±	26,75	34,28	114,54

A partir das curvas de retenção de água no solo (Figuras 22 a 30), ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), determinou-se, por sua primeira derivada, a função capacidade de água (CÁSSARO et al., 2008). Destas curvas foram extraídos os pontos de máximo, a partir dos quais foi possível a determinação dos diâmetros de poro mais frequentes (DMF) em cada profundidade (Figuras 31). A importância do conhecimento e da caracterização da distribuição de poros em determinada área é ressaltada por PIRES et al. (2017), os quais apontam a relevância desta informação e ainda de seu potencial de uso como ferramenta de análise dos

métodos de manejo do solo a serem adotados a partir da caracterização dos atributos físicos do solo.

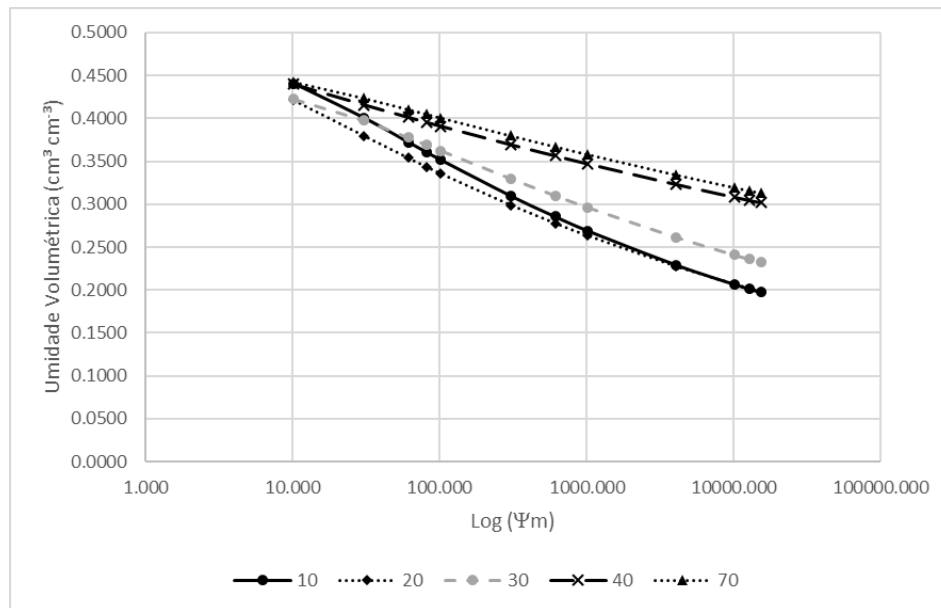


Figura 22 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (A – I – 1).

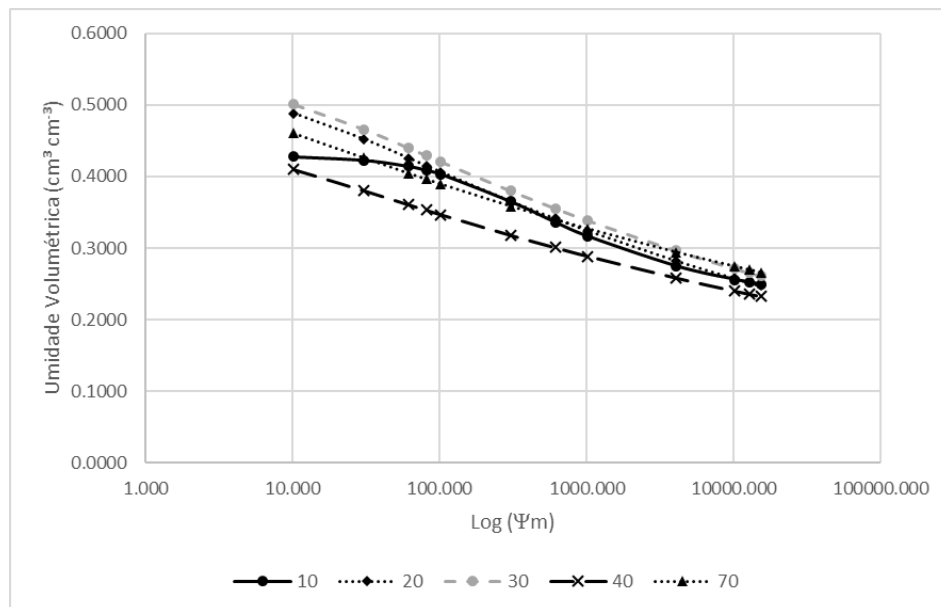


Figura 23 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (B – I – 2).

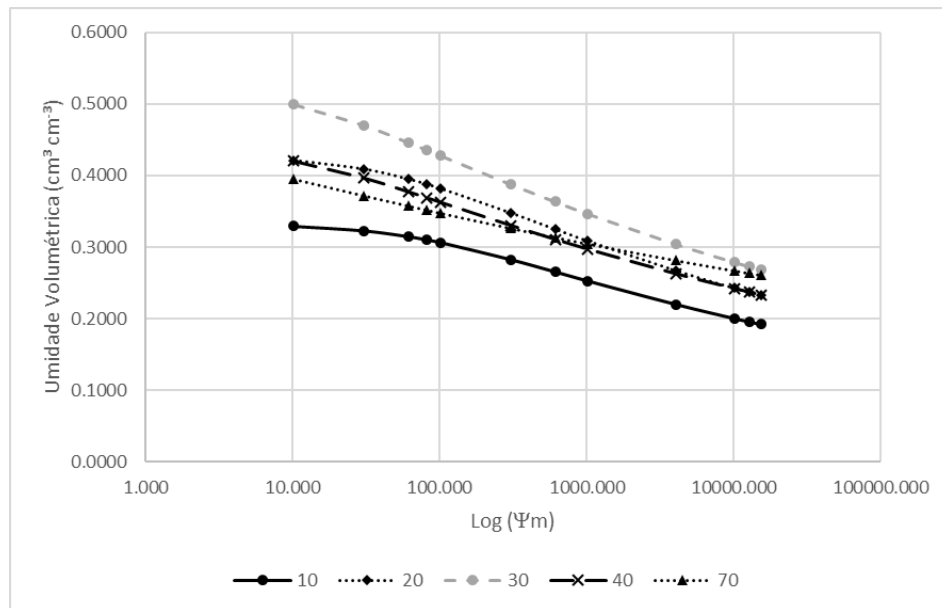


Figura 24 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (C – I – 3).

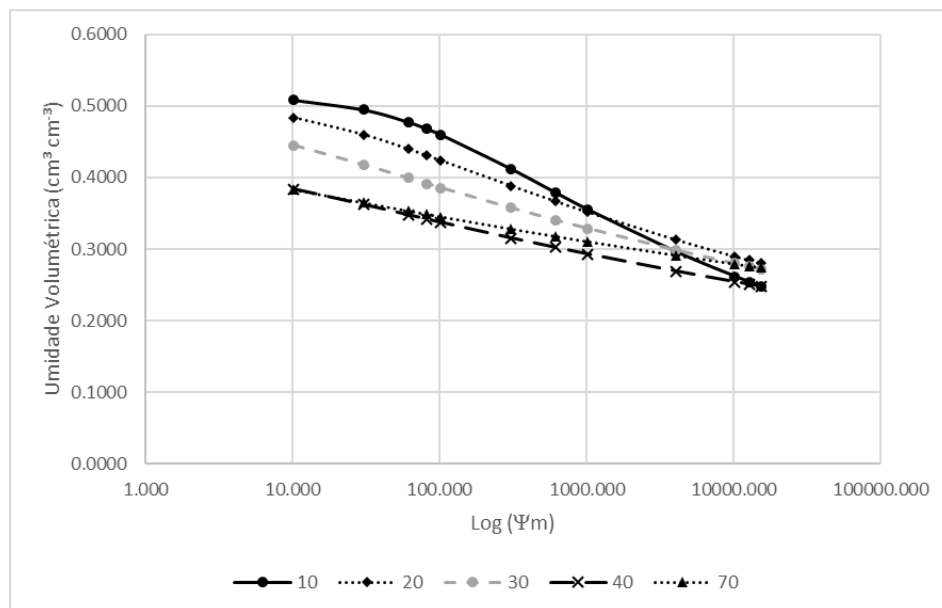


Figura 25 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (D – II – 1).

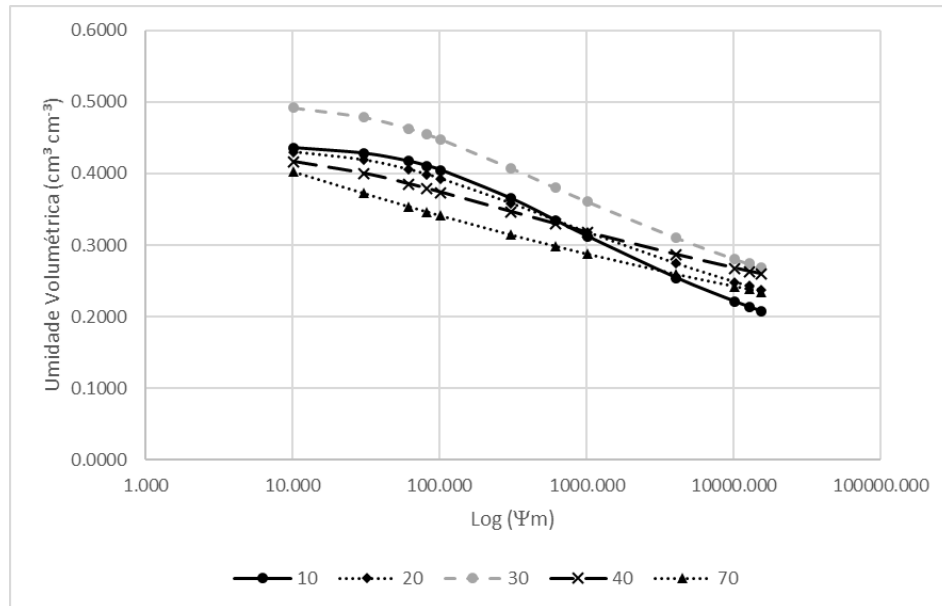


Figura 26 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (E – II – 2).

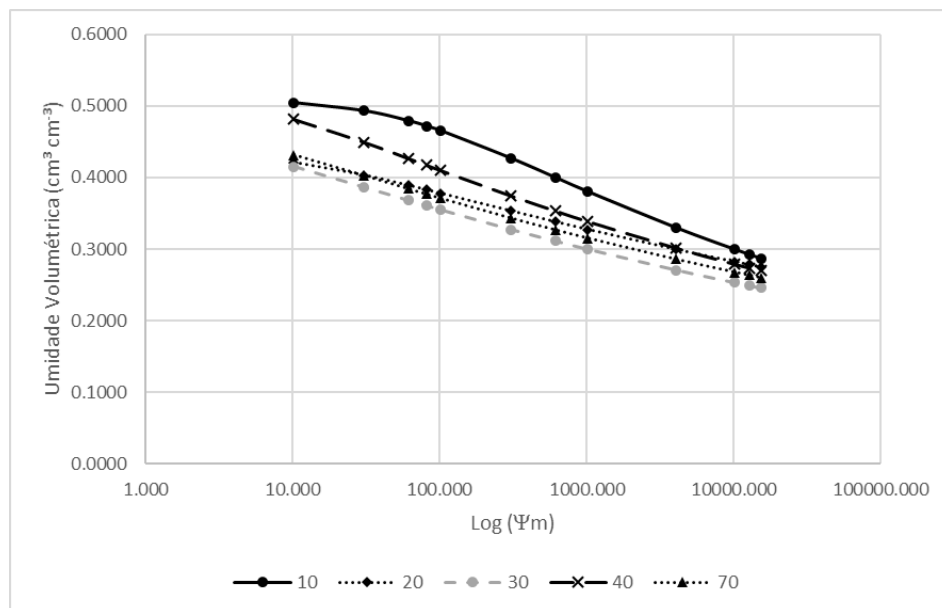


Figura 27 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (F – II – 3).

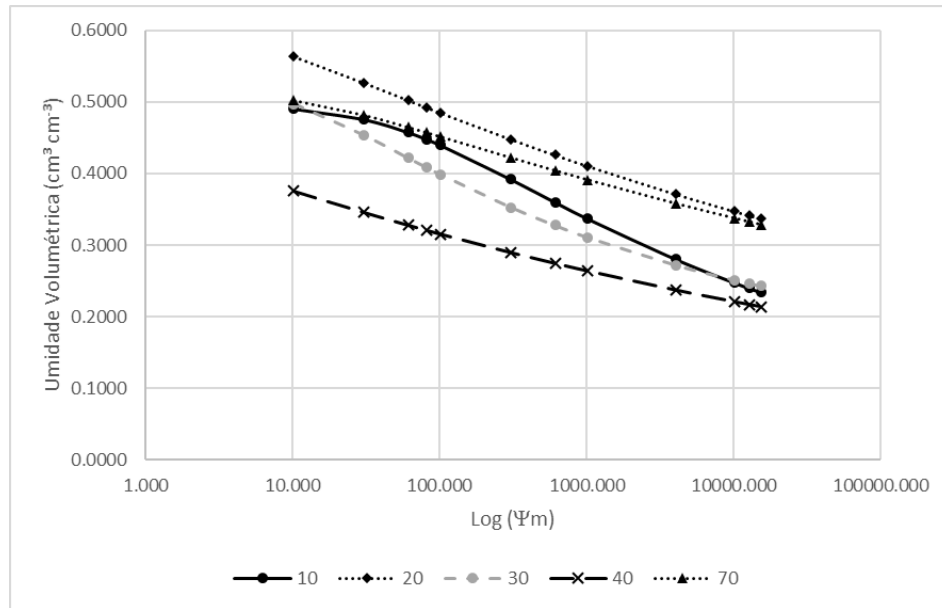


Figura 28 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (G – III – 1).

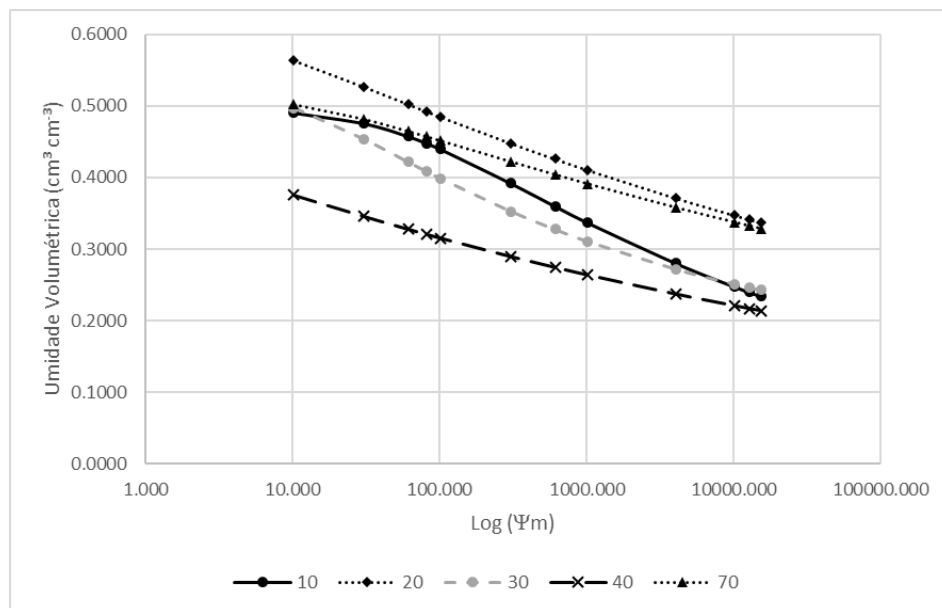


Figura 29 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (H – III – 2).

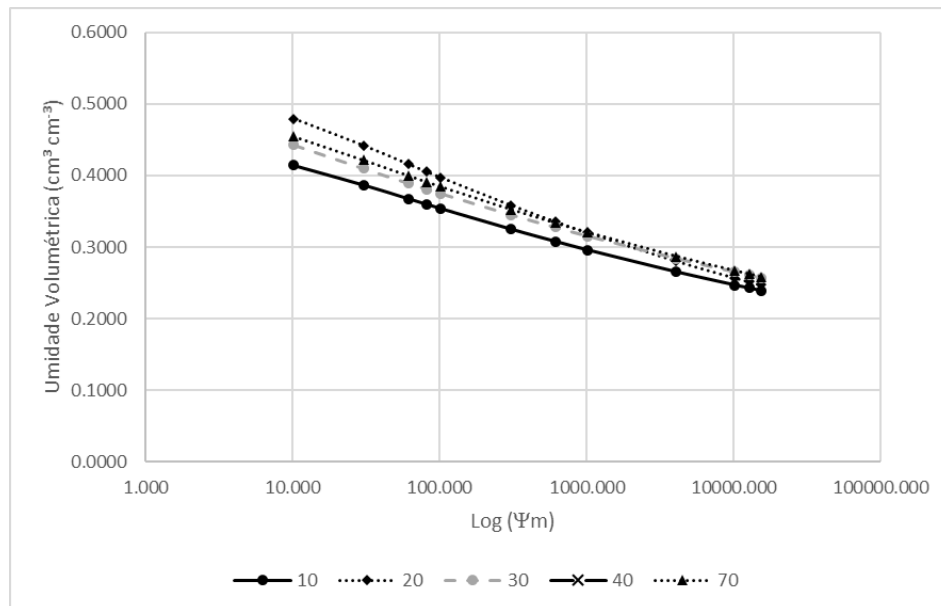


Figura 30 - Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em função da profundidade de coleta das amostras de solo, da época de semeadura e dos blocos do ensaio (I – III – 3).

O diâmetro mais frequente de poros variou com a profundidade do solo para a primeira e segunda épocas, não havendo diferenças estatisticamente significativas entre o diâmetro de poros para a terceira época de semeadura em decorrência da imposição dos tratamentos estudados (Figura 31).

Sequencialmente os poros foram classificados quanto a sua função (LAL; SHUKLA, 2004, p 144) em: poros de transmissão (TP), responsáveis pelo movimento de ar e drenagem do excesso de água; poros de armazenamento (SP), responsáveis pela retenção de água contrários a ação da gravidade; poros residuais (RP), responsáveis pela retenção e difusão de íons nas soluções; poros de conexão (BP), responsáveis por suportar as maiores forças entre as partículas de solo. Assim, a porosidade total do solo foi subdividida nestas diferentes classes e encontra-se representada na Figura 31 em função da profundidade do solo.

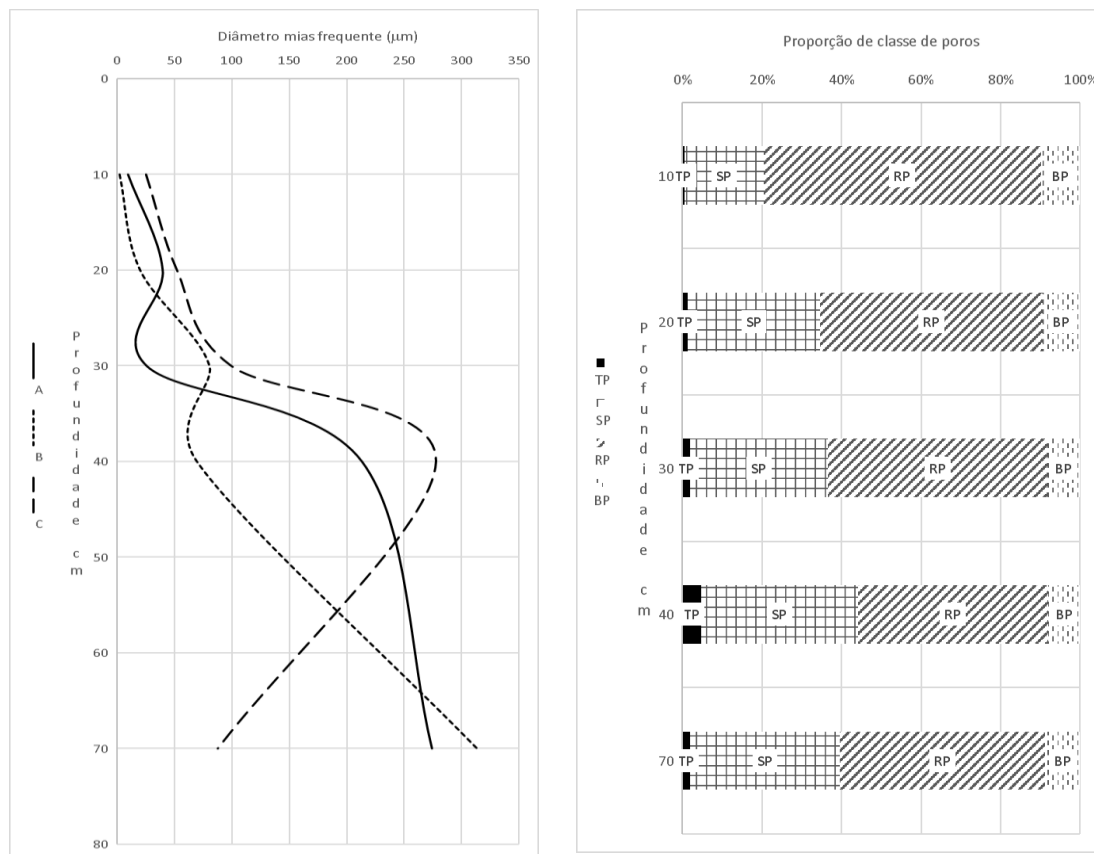


Figura 31 - Variação do diâmetro mais frequente de poros (mm) em função da profundidade e a sua classificação relativa em função do volume de água armazenado, de acordo com a curva de retenção ajustada segundo o modelo proposto por van Genuchten (1980).

Nota-se um aumento da faixa dos poros de armazenamento (SP) nas camadas inferiores de maneira inversa aos poros residuais (RP), estando os poros de transmissão (TP) presentes em pequenas proporções na superfície e em maiores proporções na profundidade de 40 cm. A classe dos poros de conexão (BP) praticamente manteve-se inalterada da superfície até as maiores profundidades.

Acredita-se que, por se tratar de um solo que há mais de 10 anos vem sendo trabalhado sob sistema de plantio direto sem nenhum tipo de revolvimento, haja aumento da densidade do solo, embora não estatisticamente significativo nas camadas superiores do solo, de forma que os poros de transmissão acabam por se tornar consideravelmente menos frequentes e representativos em relação aos demais poros (STRUDLEY et al., 2008). Além disso, o aumento dos poros de armazenamento (SP) confere ao solo a possibilidade de retenção de água em profundidade dentro do limite das camadas mais densas de raízes da cultura do milho (LIEDGENS; RICHNER, 2001) – fato que favorece, mesmo durante períodos sem chuva, a preservação da espécie sob condições de falta de água no solo (Figuras 32 a 35).

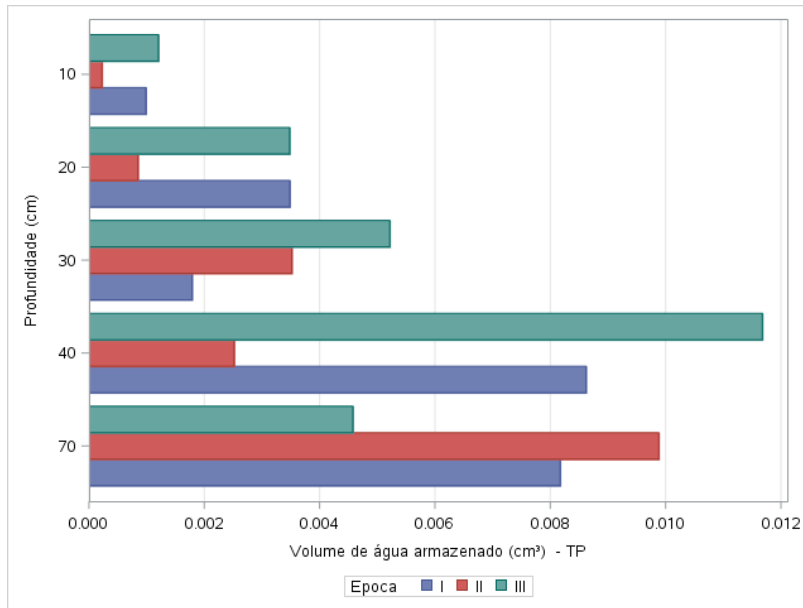


Figura 32 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (TP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.

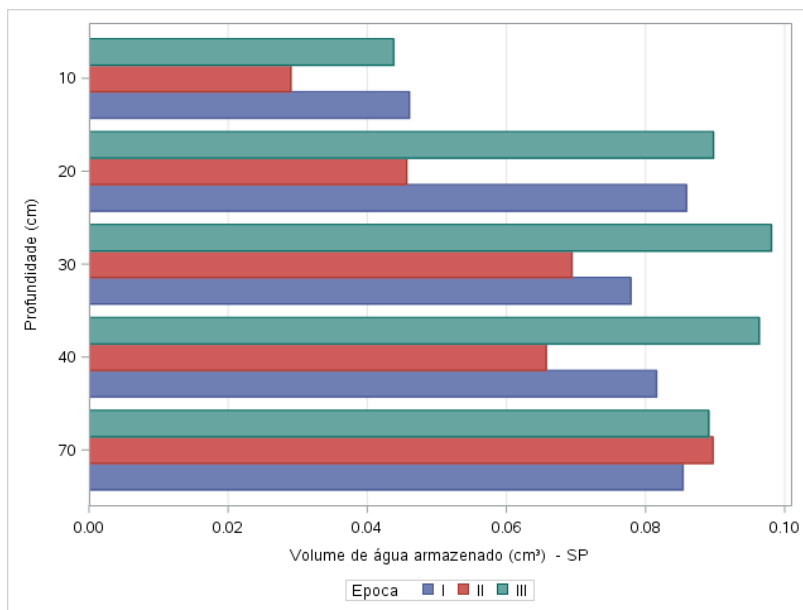


Figura 33 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (SP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.

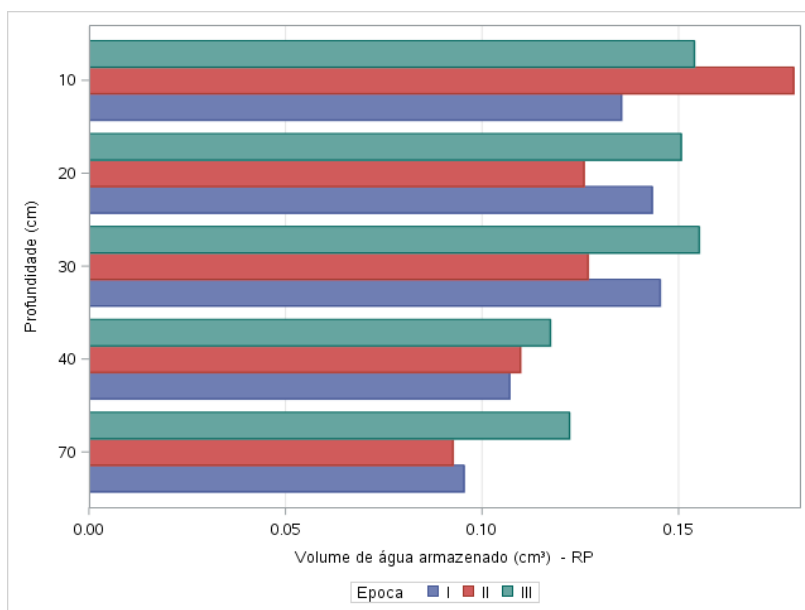


Figura 34 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (RP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.

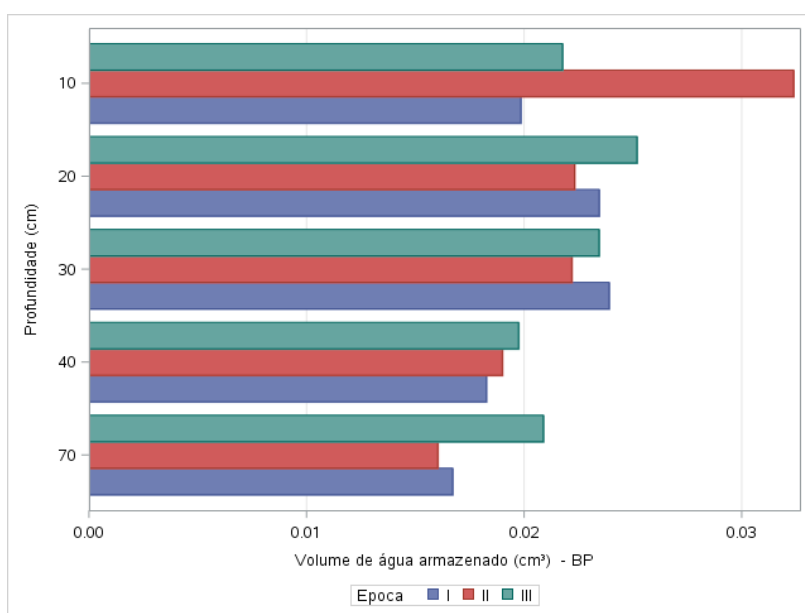


Figura 35 - Variação do volume de água armazenado em função da classe de poros (BP) em cada profundidade para as três diferentes áreas utilizadas durante a implantação do ensaio na safra 2014/2015.

Cabe aqui asseverar que, a proporção dos poros de transmissão (TP) sendo menor do que a dos demais poros, a drenagem acaba sendo dificultada, corroborando com os valores médios encontrados de velocidade de infiltração saturada (K_s) de solos de textura argilosa, conforme proposto por GENUCHTEN et al. (1980). Sendo a condutividade hidráulica (k)

função da geometria e da distribuição dos poros nas diferentes camadas do perfil (CHAPUIS, 2012), espera-se que o solo apresente comportamento físico distinto e que a dinâmica da água no solo seja condicionada pelas práticas agrícolas de manejo que foram adotadas em campos de produção de milho.

Em áreas de plantio direto, pelo trânsito de máquinas em superfície, muitas vezes sob condições não adequadas de umidade do solo, o aumento da densidade do solo e a alteração da porosidade total do solo, bem como da distribuição dos poros têm sido observados em áreas agrícolas (KAY; VANDENBYGAART, 2002; KRAVCHENKO et al., 2011; TUZZIN DE MORAES et al., 2016). Entretanto, ainda assim o sistema de plantio direto (não revolvimento do solo) proporciona melhorias significativas na condição de cultivo de culturas, como o milho (WANG et al., 2014).

Buscando um parâmetro para análise da qualidade física do solo, adotou-se o proposto por DEXTER (2004), perante determinação do índice S, obtido a partir dos valores de n , θ_s e θ_r da equação ajustada pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) em cada um dos blocos para cada época de semeadura em cada uma das profundidades do solo. O ajuste foi feito a partir das umidades volumétricas do solo nas diferentes tensões, considerando-se a diferença potencial existente nos valores obtidos quando se trabalha com o modelo ajustado utilizando-se a umidade gravimétrica (MAIA, 2011).

A variação dos valores de índice S pode ser visualizado nas Tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10 – Características do índice S para a área de implantação da primeira época do ensaio (semeadura em 15 de setembro), a partir de amostras de solo coletadas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Profundidade (cm)	N Obs	Média	S	Mínimo	Máximo	Sp
10	3	0,0359053	0,0094835	0,0249644	0,0417741	0,0054753
20	3	0,0363706	0,0032524	0,0326240	0,0384688	0,0018778
30	3	0,0350230	0,0043630	0,0300568	0,0382400	0,0025190
40	3	0,0264794	0,0041121	0,0218188	0,0295964	0,0023741
70	3	0,0238641	0,0065694	0,0191303	0,0313643	0,0037928

S – Desvio padrão; Sp – erro padrão da média; N Obs – número de observações.

Tabela 11 – Características do índice S para a área de implantação da segunda época do ensaio (semeadura em 30 de novembro), a partir de amostras de solo coletadas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Profundidade (cm)	N Obs	Média	S	Mínimo	Máximo	Sp
10	3	0,0437773	0,0043865	0,0389691	0,0475608	0,0025326
20	3	0,0294984	0,0062352	0,0223830	0,0340076	0,0035999
30	3	0,0308943	0,0073435	0,0265654	0,0393732	0,0042398
40	3	0,0261928	0,0063713	0,0206871	0,0331717	0,0036785
70	3	0,0236363	0,0059923	0,0167225	0,0273336	0,0034597

S – Desvio padrão; Sp – erro padrão da média; N Obs – número de observações.

Tabela 12 – Características do índice S para a área de implantação da terceira época do ensaio (semeadura em 15 de dezembro), a partir de amostras de solo coletadas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Profundidade (cm)	N Obs	Média	S	Mínimo	Máximo	Sp
10	3	0,0404723	0,0114658	0,0272635	0,0478574	0,0066198
20	3	0,0368392	0,0015737	0,0351316	0,0382312	0,0009085
30	3	0,0407258	0,0090073	0,0303296	0,0461889	0,0052004
40	2	0,0301191	0,0032945	0,0277895	0,0324486	0,0023296
70	3	0,0301758	0,0032029	0,0266200	0,0328346	0,0018492

S – Desvio padrão; Sp – erro padrão da média; N Obs – número de observações.

De acordo com o proposto por DEXTER (2004), valores de índice S em torno de 0,035 indicam boa qualidade física do solo, enquanto que valores inferiores a 0,02 estão claramente associados a solos com propriedades físico-hídricas muito pobres. Pelos valores expressos nas tabelas 10, 11 e 12, constatou-se que estes índices não foram inferiores a 0,023, sendo a maioria superior a 0,035, o que indica o atendimento de boas condições físicas do solo segundo o modelo proposto.

Valores similares foram encontrados por SILVA et al. (2012) em solo argiloso, onde o índice S superior a 0,045 foi considerado ótimo. Além disso, os autores encontraram ainda uma correlação entre os valores do índice S e outros atributos físicos do solo da área em questão. O índice S pode apresentar relações de dependência com a condutividade hidráulica do solo, conforme reportam ANDRADE; STONE (2009), o que evidencia que o índice S interfere na dinâmica da água no solo. Os valores de índice S encontrados por esses autores estão em

consonância com aqueles encontrados por CALONEGO; ROSOLEM (2011). Vale ressaltar que após 3 anos de plantio direto, em diferentes planos de rotação de culturas, a qualidade física do solo tende a melhorar, principalmente nos primeiros 0,20 m de profundidade.

Na análise de correlação entre os atributos físicos do solo e os valores do índice S, observou-se alta correlação entre as variações de umidade do solo nas diferentes classes de poro e os valores de índice S obtidos. Não se observou correlação forte entre o teor de argila nem tampouco de classe de poros de armazenamento (dB) e o índice S calculado (Tabela 13).

Tabela 13 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os diferentes atributos físicos do solo (N = 44). Ponta Grossa, PR.

	Profundidade	Densidade	Argila	TP	SP	RP	BP	s
Profundidade (p)	1,00000 0,9396	-0,01175 0,9396	0,18208 0,2368	0,47164 0,0012	0,40153 0,0069	-0,59553 <,0001	-0,48257 0,0009	-0,58776 <,0001
Densidade (p)	-0,01175 0,9396	1,00000	0,06524 0,6739	-0,40035 0,0071	-0,26026 0,0880	0,44947 0,0022	0,39266 0,0084	0,36842 0,0139
Argila (p)	0,18208 0,2368	0,06524 0,6739	1,00000	0,05598 0,7182	0,00706 0,9637	-0,09543 0,5377	-0,06463 0,6768	-0,07630 0,6225
TP (p)	0,47164 0,0012	-0,40035 0,0071	0,05598 0,7182	1,00000	0,64264 <,0001	-0,57018 <,0001	-0,51464 0,0004	-0,45844 0,0018
SP (p)	0,40153 0,0069	-0,26026 0,0880	0,00706 0,9637	0,64264 <,0001	1,00000	-0,27738 0,0683	-0,29122 0,0551	-0,18477 0,2299
RP (p)	-0,59553 <,0001	0,44947 0,0022	-0,09543 0,5377	-0,57018 <,0001	-0,27738 0,0683	1,00000	0,86579 <,0001	0,95862 <,0001
BP (p)	-0,48257 0,0009	0,39266 0,0084	-0,06463 0,6768	-0,51464 0,0004	-0,29122 0,0551	0,86579 <,0001	1,00000	0,71079 <,0001
s (p)	-0,58776 <,0001	0,36842 0,0139	-0,07630 0,6225	-0,45844 0,0018	-0,18477 0,2299	0,95862 <,0001	0,71079 <,0001	1,00000

O valor *p* denota o nível de significância do coeficiente de correlação. poros de transmissão (TP) poros de armazenamento (SP), poros residuais (RP) poros de conexão (BP)

Na análise dos coeficientes de correlação, observou-se que a correlação entre o índice S e a densidade do solo foi positiva, significativa ao nível de 5% de confiabilidade, diferindo do encontrado por TORMENA et al. (2008), que obtiveram correlação negativa entre os valores de índice S e a densidade do solo. Acredita-se que, em função das densidades do solo encontradas na área de pesquisa terem sido consideravelmente menores do que as obtidas no trabalho dos referidos autores, essa relação tenha sido inversa.

No tocante a profundidade e diferentes classes de poros, a correlação entre estas variáveis e o índice S corrobora com o exposto por MOREIRA et al. (2016), os quais

encontraram variações no índice S decorrentes da porosidade do solo e da distribuição dos poros no perfil. Como observado anteriormente, as diferentes classes de poros foram variáveis em profundidade, razão pela qual o índice S se correlacionou com as diferentes classes de poros, tendo em vista a não existência de diferenças significativas sobre a densidade do solo. As Figura 32 a 35 demonstram que os valores de TP aumentaram com o aumento da profundidade do solo, ao passo que os valores de RP diminuíram, refletindo a razão pela qual o índice S correlacionou-se negativamente com TP e positivamente com RP.

Sob posse de um estudo de análise de regressão múltipla, onde o índice S é a variável dependente e a densidade do solo, TP, RP, SP e BP as variáveis independentes, obteve-se um modelo para o solo da área em questão que apresentou um valor ajustado de R^2 de 0,9860, indicando que a distribuição das classes de poros no solo, de maneira associada com a densidade do solo, estão intimamente ligados à sua qualidade, partindo-se do que explicita o valor do índice S. No modelo (Tabela 14), pelo processo de seleção de variáveis explicativas que incrementem o valor de R^2 , a classe SP foi removida, concordando com o exposto na Tabela 13 da matriz de correlação.

Tabela 14 - Parâmetros estimados análise de regressão múltipla, tendo o valor de índice S como sendo variável dependente e os valores de densidade do solo, TP, RP e BP como variáveis preditoras.

Parâmetros	G.L.	Estimativa do parâmetro	Erro padrão	Valor t
Interceptação	1	0,002614	0,001620	1,61
Densidade	1	-0,004261	0,001529	-2,79
TP	1	0,166164	0,035910	4,63
RP	1	0,377233	0,009987	37,77
BP	1	-0,720367	0,055802	-12,91

G.L. – Graus de liberdade

5.3 – Avaliação da produtividade da cultura do milho

A partir das duas safras agrícolas (2014/2015 e 2015/2016) foram feitas as análises de variância com aplicação do teste F para avaliar o efeito de densidade populacional, cobertura de inverno e interação entre os fatores estudados sobre a produtividade final da cultura do milho cultivado em Ponta Grossa, PR (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15 - Resumo da análise de variância com aplicação do teste F para produtividade de milho (kg ha⁻¹) durante a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Fonte de Variação	GL	QM – A	F	QM – B	F	QM – C	F
Bloco	2	51667281,8 ns		4703484,2 ns		7472347,3 **	
Cobertura	2	26906822,9 ns		19303287,7 ns		25921834,9 **	
População	4	33953657,2 **		37992849,3 **		94420644,5 **	
Cobertura x População	8	2841944,3 ns		12721248,9 **		21122997,7 **	

Época A – semeadura em 15 de setembro. Época B – semeadura em 30 de outubro. Época C – semeadura em 15 de dezembro. ns – não significativo. * - significativo ao nível de 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 16– Resumo da análise de variância com aplicação do teste F para produtividade de milho (kg ha⁻¹) durante a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Fonte de Variação	GL	QM – A	F	QM – B	F	QM – C	F
Bloco	2	11890112,4 ns		13801189,3 ns		12096798,9 ns	
Cobertura	2	24625516,7 ns		2700934,5 ns		615091,3 ns	
População	4	86012497,8 **		108474628,2 **		62163551,4 **	
Cobertura x População	8	1088903,6 *		858792,6 ns		942175,5 ns	

Época A – semeadura em 15 de setembro. Época B – semeadura em 30 de outubro. Época C – semeadura em 15 de dezembro. ns – não significativo. * - significativo ao nível de 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Com exceção da terceira época (C) da safra 2014/2015, nas demais épocas das duas safras agrícolas (A e B) (2014/2015 e 2015/2016) não se observou efeito significativo isolado das coberturas de solo sobre a produtividade havendo, no entanto, efeito de interação entre população de plantas e cobertura de inverno nas segunda e terceira épocas da safra agrícola 2014/2015 e na primeira época da safra agrícola 2015/2016.

Na análise de regressão polinomial para a primeira época (A) da safra 2014/2015, obteve-se o ajuste para um modelo cúbico, o qual pode ser descrito pela equação 14.

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 492,546 + 0,309 \text{ POP} - 2,287 \cdot 10^{-6} \text{ POP}^2 + 5,504 \cdot 10^{-12} \text{ POP}^3$$

Eq. (14)

$$R^2 = 0,2744 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

No desdobramento da interação para a segunda época (B) da safra 2014/2015, foram obtidos os modelos abaixo discriminados:

Para a cobertura de palha de aveia

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 35941 - 1,62323 \text{ POP} + 0,00002522 \text{ POP}^2 - 1,1412 \cdot 10^{-10} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,3981 \text{ (p}<0,05)$$
Eq (15)

Para a cobertura de solo nu

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 4971,11 - 0,11526 \text{ POP} + 2,66 \cdot 10^{-6} \text{ POP}^2 - 1,2967 \cdot 10^{-11} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,5314 \text{ (p}<0,01)$$
Eq (16)

Para a cobertura de plantas voluntárias.

$$\text{PRODUTIVIDADE} = -37245 + 1,7656 \text{ POP} - 2,309 \cdot 10^{-5} \text{ POP}^2 + 9,5687 \cdot 10^{-11} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,4010 \text{ (p}<0,05)$$
Eq (17)

No desdobramento da interação para a terceira (C) época da safra 2014/2015, foram obtidos os modelos abaixo discriminados:

Para a cobertura de palha de aveia

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 41493 - 1,76198 \text{ POP} + 2,649 \cdot 10^{-5} \text{ POP}^2 - 1,1553 \cdot 10^{-10} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,5668 \text{ (p}<0,01)$$
Eq (18)

Para a cobertura de solo nu

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 7365,093 - 0,1002 \text{ POP} + 3,04 \cdot 10^{-6} \text{ POP}^2 - 1,5104 \cdot 10^{-11} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,8608 \text{ (p}<0,01)$$
Eq (19)

Para a cobertura de plantas voluntárias.

$$\text{PRODUTIVIDADE} = -69235 + 3,30836 \text{ POP} - 0,00004259 \text{ POP}^2 - 1,75718 \cdot 10^{-10} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,9326 \text{ (p}<0,01)$$
Eq (20)

No desdobramento da interação para a primeira época da safra 2015/2016, foram obtidos os modelos abaixo.

Para a cobertura de palha de aveia

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 3553,36552 + 0,07455 \text{ POP} + 3,777 \cdot 10^{-7} \text{ POP}^2 - 1,6395 \cdot 10^{-12} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,5373 \text{ (p}<0,01)$$
Eq (21)

Para a cobertura de solo nu

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 4436,34943 + 0,02212 \text{ POP} + 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ POP}^2 - 6,659 \cdot 10^{-12} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,8348 \text{ (} p < 0,01 \text{)}$$
Eq (22)

Para a cobertura de plantas voluntárias.

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 2979,48046 + 0,1253 \text{ POP} + 8,907499 \cdot 10^{-8} \text{ POP}^2 - 1,422 \cdot 10^{-12} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,9408 \text{ (} p < 0,01 \text{)}$$
Eq (23)

Na análise de regressão polinomial para a segunda época (B) da safra 2015/2016, obteve-se o ajuste para um modelo cúbico, o qual pode ser equacionado por:

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 3492,70805 + 0,05663 \text{ POP} + 1,36 \cdot 10^{-6} \text{ POP}^2 - 7,7688 \cdot 10^{-12} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,8944 \text{ (} p < 0,01 \text{)}$$
Eq (24)

Na análise de regressão polinomial para a terceira época (C) da safra 2015/2016, obteve-se o ajuste para um modelo cúbico do tipo:

$$\text{PRODUTIVIDADE} = 7679,52644 - 0,14333 \text{ POP} + 0,00000317 \text{ POP}^2 - 1,444 \cdot 10^{-11} \text{ POP}^3$$

$$R^2 = 0,5933 \text{ (} p < 0,01 \text{)}$$
Eq (25)

Dadas as condições de obtenção dos dados experimentais, envolvendo coleta de variáveis morfológicas exclusivas (diâmetro de colmo, altura das plantas e altura de inserção da espiga) e outras variáveis ligadas diretamente à produtividade da cultura do milho, optou-se pela análise multivariada, objetivamente pelo método de análise de fatores, pela redução do número de variáveis associadas à explicação da variabilidade por parte destes fatores.

Para tanto, procedeu-se a análise de correlação dos dados experimentais das safras 2014/2015 e 2015/2016, cujos resultados são mostrados nas Tabelas 17 a 22, sendo que tal procedimento estatístico constitui condição essencial para a realização da análise de fatores. Os dados foram padronizados para que tivessem média 0 (zero) e desvio padrão um (1), para reduzir o efeito das diferenças numéricas entre as variáveis, tornando-as adimensionais.

Tabela 19 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época C da safra 2014/2105.

	Std_POPULACAO	Std_AP	Std_DC	Std_AIE	Std_NFE	Std_NGFM	Std_CS	Std_DS	Std_PMS	Std_PPE	Std_ME
Std_POPULACAO		0.17669	-0.33994	0.57349	-0.26925	-0.56409	-0.34116	-0.36806	-0.19897	-0.34532	-0.45153
POPULACAO	1	0.2456	0.0223	<.0001	0.0737	<.0001	0.0218	0.0129	0.1901	0.0202	0.0018
Std_AP	0.17669		-0.15447	0.29217	-0.19202	-0.32395	-0.16571	-0.33734	-0.10213	-0.19255	-0.09446
AP	0.2456	1	0.311	0.0515	0.2063	0.0299	0.2767	0.0234	0.5044	0.2051	0.5371
Std_DC	-0.33994	-0.15447		0.04963	-0.03691	0.18436	0.10143	-0.13114	-0.14431	0.07202	0.09133
DC	0.0223	0.311	1	0.7461	0.8098	0.2254	0.5074	0.3905	0.3442	0.6383	0.5507
Std_AIE	0.57349	0.29217	0.04963		-0.25345	-0.38253	-0.17017	-0.31324	-0.27309	-0.11918	-0.20524
AIE	<.0001	0.0515	0.7461	1	0.093	0.0095	0.2638	0.0362	0.0695	0.4355	0.1762
Std_NFE	-0.26925	-0.19202	-0.03691	-0.25345		0.54337	0.53335	0.50107	0.57868	0.36935	0.44766
NFE	0.0737	0.2063	0.8098	0.093	1	0.0001	0.0002	0.0005	<.0001	0.0125	0.002
Std_NGFM	-0.56409	-0.32395	0.18436	-0.38253	0.54337		0.88146	0.7869	0.54469	0.78838	0.8474
NGFM	<.0001	0.0299	0.2254	0.0095	0.0001	1	<.0001	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001
Std_CS	-0.34116	-0.16571	0.10143	-0.17017	0.53335	0.88146		0.65625	0.51514	0.81269	0.81474
CS	0.0218	0.2767	0.5074	0.2638	0.0002	<.0001	1	<.0001	0.0003	<.0001	<.0001
Std_DS	-0.36806	-0.33734	-0.13114	-0.31324	0.50107	0.7869	0.65625		0.72132	0.659	0.76663
DS	0.0129	0.0234	0.3905	0.0362	0.0005	<.0001	<.0001	1	<.0001	<.0001	<.0001
Std_PMS	-0.19897	-0.10213	-0.14431	-0.27309	0.57868	0.54469	0.51514	0.72132		0.49243	0.66221
PMS	0.1901	0.5044	0.3442	0.0695	<.0001	0.0001	0.0003	<.0001	1	0.0006	<.0001
Std_PPE	-0.34532	-0.19255	0.07202	-0.11918	0.36935	0.78838	0.81269	0.659	0.49243		0.87796
PPE	0.0202	0.2051	0.6383	0.4355	0.0125	<.0001	<.0001	<.0001	0.0006	1	<.0001
Std_ME	-0.45153	-0.09446	0.09133	-0.20524	0.44766	0.8474	0.81474	0.76663	0.66221	0.87796	
ME	0.0018	0.5371	0.5507	0.1762	0.002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1

Tabela 20 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época A da safra 2015/2016 (continua).

	Std_POPULACAO	Std_DC	Std_AIE	Std_AP	Std_PPE	Std_NF	Std_NGFM	Std_ME	Std_DS	Std_CS	Std_PMS	Std_AF	Std_IAF	Std_LF	Std_CF	Std_TF	Std_FESP
Std_POPULACAO		-0.43465	0.71121	0.65494	-0.54122	-0.24183	-0.73553	-0.63993	-0.14207	-0.69048	-0.27941	0.03155	0.98134	-0.18724	0.27874	-0.06902	0.17882
POPULACAO	1	0.0028	<.0001	<.0001	0.0001	0.1095	<.0001	<.0001	0.3519	<.0001	0.0631	0.837	<.0001	0.2181	0.0637	0.6524	0.2399
Std_DC	-0.43465		-0.13966	0.06499	0.663	0.19013	0.48921	0.6337	0.23448	0.61405	0.51692	0.5818	-0.33241	0.67193	0.31942	-0.05989	0.35611
DC	0.0028	1	0.3602	0.6714	<.0001	0.2109	0.0006	<.0001	0.1211	<.0001	0.0003	<.0001	0.0257	<.0001	0.0324	0.696	0.0164
Std_AIE	0.71121	-0.13966		0.88823	-0.25763	0.00059	-0.45747	-0.30559	-0.08328	-0.46786	-0.12285	0.34143	0.75562	0.02125	0.60262	-0.10524	-0.00524
AIE	<.0001	0.3602	1	<.0001	0.0875	0.9969	0.0016	0.0412	0.5865	0.0012	0.4214	0.0217	<.0001	0.8898	<.0001	0.4914	0.9728
Std_AP	0.65494	0.06499	0.88823		-0.07382	-0.03176	-0.32159	-0.16149	-0.10821	-0.31505	0.01325	0.5209	0.72245	0.2533	0.70335	-0.1619	0.25651
AP	<.0001	0.6714	<.0001	1	0.6298	0.8359	0.0312	0.2892	0.4792	0.035	0.9312	0.0002	<.0001	0.0932	<.0001	0.288	0.089
Std_PPE	-0.54122	0.663	-0.25763	-0.07382		0.15785	0.76355	0.84209	0.34767	0.78499	0.49242	0.46962	-0.44406	0.56292	0.26048	-0.0839	0.23364
PPE	0.0001	<.0001	0.0875	0.6298	1	0.3004	<.0001	<.0001	0.0193	<.0001	0.0006	0.0011	0.0022	<.0001	0.084	0.5837	0.1224
Std_NF	-0.24183	0.19013	0.00059	-0.03176	0.15785		0.33103	0.13364	0.20699	0.23239	-0.2544	0.21818	-0.18239	0.12504	0.05694	0.27956	0.00541
NF	0.1095	0.2109	0.9969	0.8359	0.3004	1	0.0263	0.3815	0.1725	0.1245	0.0917	0.1499	0.2305	0.4131	0.7103	0.0629	0.9719
Std_NGFM	-0.73553	0.48921	-0.45747	-0.32159	0.76355	0.33103		0.83383	0.1406	0.85913	0.32066	0.28917	-0.66451	0.48446	0.02083	-0.04894	0.04401
NGFM	<.0001	0.0006	0.0016	0.0312	<.0001	0.0263	1	<.0001	0.3569	<.0001	0.0317	0.054	<.0001	0.0007	0.892	0.7496	0.774
Std_ME	-0.63993	0.6337	-0.30559	-0.16149	0.84209	0.13364	0.83383		0.29185	0.75061	0.71546	0.32883	-0.5639	0.55439	0.16801	-0.29621	0.14297
ME	<.0001	<.0001	0.0412	0.2892	<.0001	0.3815	<.0001	1	0.0517	<.0001	<.0001	0.0274	<.0001	<.0001	0.27	0.0482	0.3488
Std_DS	-0.14207	0.23448	-0.08328	-0.10821	0.34767	0.20699	0.1406	0.29185		0.17763	0.1963	0.02294	-0.12867	0.12698	-0.09178	0.00429	0.21514
DS	0.3519	0.1211	0.5865	0.4792	0.0193	0.1725	0.3569	0.0517	1	0.2431	0.1962	0.8811	0.3996	0.4059	0.5488	0.9777	0.1558
Std_CS	-0.69048	0.61405	-0.46786	-0.31505	0.78499	0.23239	0.85913	0.75061	0.17763		0.34541	0.42497	-0.59741	0.57248	0.07254	0.08307	0.0847
CS	<.0001	<.0001	0.0012	0.035	<.0001	0.1245	<.0001	<.0001	0.2431	1	0.0201	0.0036	<.0001	<.0001	0.6358	0.5875	0.5801
Std_PMS	-0.27941	0.51692	-0.12285	0.01325	0.49242	-0.2544	0.32066	0.71546	0.1963	0.34541		0.15053	-0.25182	0.37923	0.151	-0.46427	0.20141
PMS	0.0631	0.0003	0.4214	0.9312	0.0006	0.0917	0.0317	<.0001	0.1962	0.0201	1	0.3236	0.0952	0.0102	0.3221	0.0013	0.1846
Std_AF	0.03155	0.5818	0.34143	0.5209	0.46962	0.21818	0.28917	0.32883	0.02294	0.42497	0.15053		0.20984	0.75549	0.80294	0.12412	0.26106
AF	0.837	<.0001	0.0217	0.0002	0.0011	0.1499	0.054	0.0274	0.8811	0.0036	0.3236	1	0.1665	<.0001	<.0001	0.4166	0.0833

Tabela 20 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época A da safra 2015/2016. (Continuação)

	Std_POPULACAO	Std_DC	Std_AIE	Std_AP	Std_PPE	Std_NF	Std_NGFM	Std_ME	Std_DS	Std_CS	Std_PMS	Std_AF	Std_IAF	Std_LF	Std_CF	Std_TF	Std_FESP
Std_IAF	0.98134	-0.33241	0.75562	0.72245	-0.44406	-0.18239	-0.66451	-0.5639	-0.12867	-0.59741	-0.25182	0.20984					
IAF	<.0001	0.0257	<.0001	<.0001	0.0022	0.2305	<.0001	<.0001	0.3996	<.0001	0.0952	0.1665	1	-0.04223	0.41838	-0.05808	0.2105
														0.783	0.0042	0.7047	0.1652
Std_LF	-0.18724	0.67193	0.02125	0.2533	0.56292	0.12504	0.48446	0.55439	0.12698	0.57248	0.37923	0.75549	-0.04223		0.40709	-0.26768	0.38185
LF	0.2181	<.0001	0.8898	0.0932	<.0001	0.4131	0.0007	<.0001	0.4059	<.0001	0.0102	<.0001	0.783	1	0.0055	0.0754	0.0096
Std_CF	0.27874	0.31942	0.60262	0.70335	0.26048	0.05694	0.02083	0.16801	-0.09178	0.07254	0.151	0.80294	0.41838	0.40709		-0.15388	0.11261
CF	0.0637	0.0324	<.0001	<.0001	0.084	0.7103	0.892	0.27	0.5488	0.6358	0.3221	<.0001	0.0042	0.0055	1	0.3129	0.4614
Std_TF	-0.06902	-0.05989	-0.10524	-0.1619	-0.0839	0.27956	-0.04894	-0.29621	0.00429	0.08307	-0.46427	0.12412	-0.05808	-0.26768	-0.15388		-0.10551
TF	0.6524	0.696	0.4914	0.288	0.5837	0.0629	0.7496	0.0482	0.9777	0.5875	0.0013	0.4166	0.7047	0.0754	0.3129	1	0.4903
Std_FESP	0.17882	0.35611	-0.00524	0.25651	0.23364	0.00541	0.04401	0.14297	0.21514	0.0847	0.20141	0.26106	0.2105	0.38185	0.11261	-0.10551	
FESP	0.2399	0.0164	0.9728	0.089	0.1224	0.9719	0.774	0.3488	0.1558	0.5801	0.1846	0.0833	0.1652	0.0096	0.4614	0.4903	1

Tabela 21 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época B da safra 2015/2016 (continua).

	Std_POPULACAO	Std_DC	Std_AIE	Std_AP	Std_PPE	Std_NF	Std_NGFM	Std_ME	Std_DS	Std_CS	Std_PMS	Std_AF	Std_IAF	Std_LF	Std_CF	Std_TF	Std_FESP
Std_POPULACAO		-0.23611	0.25558	0.39876	-0.6896	-0.23505	-0.71687	-0.5983	-0.51912	-0.72479	-0.41055	0.31288	0.98372	-0.04917	0.40886	0.17145	-0.11738
POPULACAO	1	0.1184	0.0902	0.0067	<.0001	0.1201	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001	0.0051	0.0364	<.0001	0.7484	0.0053	0.2601	0.4425
Std_DC	-0.23611		0.34754	0.26331	0.282	0.25812	0.0873	0.08062	0.04453	0.12754	0.07513	0.19974	-0.16352	0.1205	0.26719	-0.27885	0.14602
DC	0.1184	1	0.0193	0.0805	0.0606	0.0869	0.5685	0.5986	0.7715	0.4038	0.6238	0.1883	0.2831	0.4304	0.076	0.0636	0.3385
Std_AIE	0.25558	0.34754		0.85866	0.06761	0.11745	-0.2427	-0.09305	-0.22377	-0.19438	-0.08729	0.39712	0.31177	-0.06888	0.53165	0.22105	0.04801
AIE	0.0902	0.0193	1	<.0001	0.659	0.4423	0.1082	0.5432	0.1395	0.2007	0.5686	0.0069	0.0371	0.653	0.0002	0.1445	0.7542
Std_AP	0.39876	0.26331	0.85866		-0.12451	0.07432	-0.3786	-0.21519	-0.25724	-0.33131	-0.18314	0.44411	0.45367	0.00971	0.53072	0.29508	0.16833
AP	0.0067	0.0805	<.0001	1	0.4151	0.6276	0.0103	0.1557	0.088	0.0262	0.2285	0.0022	0.0017	0.9495	0.0002	0.0491	0.269
Std_PPE	-0.6896	0.282	0.06761	-0.12451		0.17213	0.66876	0.7349	0.60745	0.74001	0.67212	0.04322	-0.63611	0.09065	0.00349	0.02366	0.00104
PPE	<.0001	0.0606	0.659	0.4151	1	0.2582	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.778	<.0001	0.5537	0.9818	0.8774	0.9946
Std_NF	-0.23505	0.25812	0.11745	0.07432	0.17213		0.04746	0.37642	0.2632	0.13262	0.03907	-0.09541	-0.22475	0.06866	-0.12011	-0.22875	0.32188
NF	0.1201	0.0869	0.4423	0.6276	0.2582	1	0.7569	0.0108	0.0807	0.3852	0.7989	0.533	0.1377	0.6541	0.4319	0.1307	0.0311
Std_NGFM	-0.71687	0.0873	-0.2427	-0.3786	0.66876	0.04746		0.74518	0.57644	0.81947	0.58059	-0.15777	-0.695	-0.06525	-0.1597	-0.07918	-0.03057
NGFM	<.0001	0.5685	0.1082	0.0103	<.0001	0.7569	1	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.3006	<.0001	0.6702	0.2947	0.6052	0.842
Std_ME	-0.5983	0.08062	-0.09305	-0.21519	0.7349	0.37642	0.74518		0.7433	0.69831	0.853	-0.00334	-0.55686	0.01419	-0.03034	0.06798	0.07567
ME	<.0001	0.5986	0.5432	0.1557	<.0001	0.0108	<.0001	1	<.0001	<.0001	<.0001	0.9826	<.0001	0.9263	0.8432	0.6573	0.6213
Std_DS	-0.51912	0.04453	-0.22377	-0.25724	0.60745	0.2632	0.57644	0.7433		0.52535	0.68414	-0.03032	-0.48905	0.16393	-0.12911	-0.01909	0.27852
DS	0.0003	0.7715	0.1395	0.088	<.0001	0.0807	<.0001	<.0001	1	0.0002	<.0001	0.8433	0.0007	0.2819	0.3979	0.9009	0.0639
Std_CS	-0.72479	0.12754	-0.19438	-0.33131	0.74001	0.13262	0.81947	0.69831	0.52535		0.51673	-0.13966	-0.69893	0.0193	-0.17845	-0.08372	-0.01229
CS	<.0001	0.4038	0.2007	0.0262	<.0001	0.3852	<.0001	<.0001	0.0002	1	0.0003	0.3602	<.0001	0.8999	0.2409	0.5845	0.9361
Std_PMS	-0.41055	0.07513	-0.08729	-0.18314	0.67212	0.03907	0.58059	0.853	0.68414	0.51673		0.0938	-0.36834	-0.01872	0.10668	0.14319	-0.04934
PMS	0.0051	0.6238	0.5686	0.2285	<.0001	0.7989	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	1	0.5399	0.0128	0.9029	0.4855	0.348	0.7475
Std_AF	0.31288	0.19974	0.39712	0.44411	0.04322	-0.09541	-0.15777	-0.00334	-0.03032	-0.13966	0.0938		0.46494	0.57824	0.87819	0.61426	0.24114
AF	0.0364	0.1883	0.0069	0.0022	0.778	0.533	0.3006	0.9826	0.8433	0.3602	0.5399	1	0.0013	<.0001	<.0001	<.0001	0.1105

Tabela 21 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época B da safra 2015/2016. (Continuação)

	Std_POPULACAO	Std_DC	Std_AIE	Std_AP	Std_PPE	Std_NF	Std_NGFM	Std_ME	Std_DS	Std_CS	Std_PMS	Std_AF	Std_IAF	Std_LF	Std_CF	Std_TF	Std_FESP
Std_IAF	0.98372	-0.16352	0.31177	0.45367	-0.63611	-0.22475	-0.695	-0.55686	-0.48905	-0.69893	-0.36834	0.46494					
IAF	<.0001	0.2831	0.0371	0.0017	<.0001	0.1377	<.0001	<.0001	0.0007	<.0001	0.0128	0.0013	1	0.05976	0.53202	0.25571	-0.06364
														0.6966	0.0002	0.09	0.6779
Std_LF	-0.04917	0.1205	-0.06888	0.00971	0.09065	0.06866	-0.06525	0.01419	0.16393	0.0193	-0.01872	0.57824	0.05976		0.14478	0.22224	0.26326
LF	0.7484	0.4304	0.653	0.9495	0.5537	0.6541	0.6702	0.9263	0.2819	0.8999	0.9029	<.0001	0.6966	1	0.3427	0.1423	0.0806
Std_CF	0.40886	0.26719	0.53165	0.53072	0.00349	-0.12011	-0.1597	-0.03034	-0.12911	-0.17845	0.10668	0.87819	0.53202	0.14478		0.47958	0.14053
CF	0.0053	0.076	0.0002	0.0002	0.9818	0.4319	0.2947	0.8432	0.3979	0.2409	0.4855	<.0001	0.0002	0.3427	1	0.0009	0.3572
Std_TF	0.17145	-0.27885	0.22105	0.29508	0.02366	-0.22875	-0.07918	0.06798	-0.01909	-0.08372	0.14319	0.61426	0.25571	0.22224	0.47958		0.18749
TF	0.2601	0.0636	0.1445	0.0491	0.8774	0.1307	0.6052	0.6573	0.9009	0.5845	0.348	<.0001	0.09	0.1423	0.0009	1	0.2175
Std_FESP	-0.11738	0.14602	0.04801	0.16833	0.00104	0.32188	-0.03057	0.07567	0.27852	-0.01229	-0.04934	0.24114	-0.06364	0.26326	0.14053	0.18749	
FESP	0.4425	0.3385	0.7542	0.269	0.9946	0.0311	0.842	0.6213	0.0639	0.9361	0.7475	0.1105	0.6779	0.0806	0.3572	0.2175	1

Tabela 22 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época C da safra 2015/2016 (continua).

	Std_POPULACAO	Std_DC	Std_AIE	Std_AP	Std_PPE	Std_NF	Std_NGFM	Std_ME	Std_DS	Std_CS	Std_PMS	Std_AF	Std_IAF	Std_LF	Std_CF	Std_TF	Std_FESP
Std_POPULACAO		-0.61968	0.45765	0.27161	-0.75613	0.06346	-0.58581	-0.60521	-0.45132	-0.67959	-0.42284	0.07155	0.97358	-0.05064	0.03767	0.29135	0.25387
POPULACAO	1	<.0001	0.0016	0.0711	<.0001	0.6787	<.0001	<.0001	0.0019	<.0001	0.0038	0.6404	<.0001	0.7411	0.806	0.0522	0.0924
Std_DC	-0.61968		-0.09205	0.03742	0.6472	0.0434	0.6338	0.59257	0.47993	0.5235	0.31519	-0.03	-0.59545	-0.10539	0.00839	0.07553	-0.22979
DC	<.0001	1	0.5476	0.8072	<.0001	0.7771	<.0001	<.0001	0.0008	0.0002	0.0349	0.8449	<.0001	0.4908	0.9564	0.6219	0.1289
Std_AIE	0.45765	-0.09205		0.65493	-0.2175	0.37641	0.04666	-0.02531	-0.17076	-0.16027	-0.16592	0.49135	0.56949	0.20997	0.40813	0.38276	0.28824
AIE	0.0016	0.5476	1	<.0001	0.1512	0.0108	0.7609	0.8689	0.2621	0.2929	0.276	0.0006	<.0001	0.1662	0.0054	0.0095	0.0548
Std_AP	0.27161	0.03742	0.65493		-0.10458	0.50101	0.07648	0.03932	-0.00076	-0.07098	-0.10095	0.38004	0.36316	0.14752	0.2984	0.41096	0.25991
AP	0.0711	0.8072	<.0001	1	0.4942	0.0005	0.6176	0.7976	0.996	0.6431	0.5094	0.01	0.0142	0.3335	0.0465	0.005	0.0847
Std_PPE	-0.75613	0.6472	-0.2175	-0.10458		-0.1303	0.76747	0.8328	0.55081	0.83848	0.71542	0.15399	-0.69977	0.10232	0.16204	-0.0694	-0.36293
PPE	<.0001	<.0001	0.1512	0.4942	1	0.3936	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.3125	<.0001	0.5036	0.2876	0.6505	0.0143
Std_NF	0.06346	0.0434	0.37641	0.50101	-0.1303		-0.02761	0.08206	0.02149	-0.11829	-0.15157	0.24547	0.143	0.1847	0.155	0.20819	0.28861
NF	0.6787	0.7771	0.0108	0.0005	0.3936	1	0.8571	0.592	0.8886	0.439	0.3203	0.1041	0.3487	0.2245	0.3093	0.17	0.0545
Std_NGFM	-0.58581	0.6338	0.04666	0.07648	0.76747	-0.02761		0.8601	0.40374	0.79959	0.46484	0.31366	-0.49358	0.18873	0.30422	-0.02404	-0.38437
NGFM	<.0001	<.0001	0.7609	0.6176	<.0001	0.8571	1	<.0001	0.006	<.0001	0.0013	0.0359	0.0006	0.2144	0.0422	0.8754	0.0091
Std_ME	-0.60521	0.59257	-0.02531	0.03932	0.8328	0.08206	0.8601		0.55969	0.81771	0.67867	0.23935	-0.52518	0.20894	0.20272	-0.04313	-0.39485
ME	<.0001	<.0001	0.8689	0.7976	<.0001	0.592	<.0001	1	<.0001	<.0001	<.0001	0.1133	0.0002	0.1684	0.1817	0.7785	0.0073
Std_DS	-0.45132	0.47993	-0.17076	-0.00076	0.55081	0.02149	0.40374	0.55969		0.50601	0.28535	-0.02287	-0.42418	0.07686	-0.09616	0.12749	-0.0969
DS	0.0019	0.0008	0.2621	0.996	<.0001	0.8886	0.006	<.0001	1	0.0004	0.0574	0.8815	0.0037	0.6158	0.5298	0.404	0.5266
Std_CS	-0.67959	0.5235	-0.16027	-0.07098	0.83848	-0.11829	0.79959	0.81771	0.50601		0.62491	0.13588	-0.62407	0.19877	0.08901	-0.06568	-0.3365
CS	<.0001	0.0002	0.2929	0.6431	<.0001	0.439	<.0001	<.0001	0.0004	1	<.0001	0.3735	<.0001	0.1906	0.561	0.6681	0.0238
Std_PMS	-0.42284	0.31519	-0.16592	-0.10095	0.71542	-0.15157	0.46484	0.67867	0.28535	0.62491		0.11646	-0.39756	-0.06333	0.1954	-0.03262	-0.23494
PMS	0.0038	0.0349	0.276	0.5094	<.0001	0.3203	0.0013	<.0001	0.0574	<.0001	1	0.4462	0.0068	0.6794	0.1983	0.8315	0.1203
Std_AF	0.07155	-0.03	0.49135	0.38004	0.15399	0.24547	0.31366	0.23935	-0.02287	0.13588	0.11646		0.2832	0.52805	0.88863	0.33126	0.14969
AF	0.6404	0.8449	0.0006	0.01	0.3125	0.1041	0.0359	0.1133	0.8815	0.3735	0.4462	1	0.0594	0.0002	<.0001	0.0262	0.3264

Tabela 22 – Matriz de correlação para os dados padronizados para a época C da safra 2015/2016. (Continuação)

	Std_POPULACAO	Std_DC	Std_AIE	Std_AP	Std_PPE	Std_NF	Std_NGFM	Std_ME	Std_DS	Std_CS	Std_PMS	Std_AF	Std_IAF	Std_LF	Std_CF	Std_TF	Std_FESP
Std_IAF	0.97358	-0.59545	0.56949	0.36316	-0.69977	0.143	-0.49358	-0.52518	-0.42418	-0.62407	-0.39756	0.2832	1	0.07413	0.22093	0.35148	0.29373
IAF	<.0001	<.0001	<.0001	0.0142	<.0001	0.3487	0.0006	0.0002	0.0037	<.0001	0.0068	0.0594		0.6284	0.1447	0.0179	0.0502
Std_LF	-0.05064	-0.10539	0.20997	0.14752	0.10232	0.1847	0.18873	0.20894	0.07686	0.19877	-0.06333	0.52805	0.07413	1	0.13427	-0.03552	-0.12857
LF	0.7411	0.4908	0.1662	0.3335	0.5036	0.2245	0.2144	0.1684	0.6158	0.1906	0.6794	0.0002	0.6284		0.3792	0.8168	0.4
Std_CF	0.03767	0.00839	0.40813	0.2984	0.16204	0.155	0.30422	0.20272	-0.09616	0.08901	0.1954	0.88863	0.22093	0.13427	1	0.18231	0.20257
CF	0.806	0.9564	0.0054	0.0465	0.2876	0.3093	0.0422	0.1817	0.5298	0.561	0.1983	<.0001	0.1447	0.3792		0.2307	0.182
Std_TF	0.29135	0.07553	0.38276	0.41096	-0.0694	0.20819	-0.02404	-0.04313	0.12749	-0.06568	-0.03262	0.33126	0.35148	-0.03552	0.18231	1	0.2294
TF	0.0522	0.6219	0.0095	0.005	0.6505	0.17	0.8754	0.7785	0.404	0.6681	0.8315	0.0262	0.0179	0.8168	0.2307		0.1296
Std_FESP	0.25387	-0.22979	0.28824	0.25991	-0.36293	0.28861	-0.38437	-0.39485	-0.0969	-0.3365	-0.23494	0.14969	0.29373	-0.12857	0.20257	0.2294	1
FESP	0.0924	0.1289	0.0548	0.0847	0.0143	0.0545	0.0091	0.0073	0.5266	0.0238	0.1203	0.3264	0.0502	0.4	0.182	0.1296	

Sendo a maioria das variáveis altamente correlacionadas ($p < 0,05$) para as duas safras em análise nas 3 épocas, partiu-se para as demais análises visando a redução no número de variáveis buscando, por métodos estatísticos multivariados, obter algumas que apresentassem e representassem a maior parte da variância.

Dada a natureza dos dados experimentais, optou-se pelas seguintes técnicas de investigação estatística: análise de fatores, agrupamentos, análise de função discriminante e regressão múltipla.

Os fatores foram obtidos inicialmente a partir dos componentes principais (cargas iniciais); posteriormente aplicou-se a rotação Varimax, o que favorece e facilita a interpretação dos dados na análise. A seleção dos fatores foi baseada no proposto por Manly (2008), ou seja, os fatores a serem selecionados são os que apresentam autovalores maiores que 1 e/ou quando a variância explicada por eles, em conjunto, atingir mais que 70% da variância total. Desta forma, para as duas safras nas três épocas de semeadura adotou-se como técnica padrão o uso dos 3 primeiros fatores, considerando que a análise fornece o seu resultado em ordem decrescente de importância e de acúmulo de variância explicada (Tabelas 23 a 28).

Buscando a manutenção de condições de análise, mesmo havendo um maior número de informações passíveis de serem analisadas na segunda safra (2015/2016), foram mantidas as mesmas variáveis para as duas safras nas três épocas, incluindo-se aqui a população de plantas, tendo em vista que este fator se correlacionou com o maior número de variáveis morfológicas (Tabelas 17 a 22) e de rendimento do milho, tendo sido uniformemente e aleatoriamente distribuída entre as parcelas.

Tabela 23 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época A da safra 2014/2015.

		Fatores Rotacionados			Cumunalidades
		Fator1	Fator2	Fator3	
Std_POPULACAO	POPULACAO	-0,49256	-0,31093	0,10332	0,35
Std_AP	AP	0,08038	0,23233	0,96313	0,99
Std_DC	DC	0,12035	0,10947	-0,09594	0,04
Std_AIE	AIE	0,07272	0,26048	0,74510	0,63
Std_NFE	NFE	0,30932	0,17749	0,10595	0,14
Std_NGFM	NGFM	0,90314	0,23457	0,08976	0,88
Std_CS	CS	0,32045	0,85589	0,26918	0,91
Std_DS	DS	0,25410	0,88148	0,25884	0,91
Std_PMS	PMS	0,49910	0,16075	0,01080	0,28
Std_PPE	PPE	0,84023	0,25237	0,07713	0,78
Std_ME	ME	0,83873	0,24112	0,0926	0,77

Tabela 24 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época B da safra 2014/2105.

		Fatores Rotacionados			Cumunalidades
		Fator1	Fator2	Fator3	
Std_POPULACAO	POPULACAO	-0,24408	0,26083	-0,03903	0,13
Std_AP	AP	-0,00960	0,96339	-0,01361	0,93
Std_DC	DC	0,15365	-0,15077	0,03516	0,05
Std_AIE	AIE	-0,09604	0,88168	-0,12272	0,80
Std_NFE	NFE	0,44301	-0,0847	0,87944	0,98
Std_NGFM	NGFM	0,80231	-0,0497	0,35335	0,77
Std_CS	CS	0,91201	-0,04591	0,23984	0,89
Std_DS	DS	0,60678	-0,17689	0,48633	0,64
Std_PMS	PMS	0,39381	-0,05026	0,13618	0,18
Std_PPE	PPE	0,90464	-0,14541	0,17612	0,87
Std_ME	ME	0,79610	0,11912	0,17776	0,68

Tabela 25 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época C da safra 2014/2105.

		Fatores Rotacionados			Cumunalidades
		Fator1	Fator2	Fator3	
Std_POPULACAO	POPULACAO	-0,26576	-0,03292	-0,09071	0,08
Std_AP	AP	-0,0977	-0,02017	-0,06839	0,01
Std_DC	DC	0,06156	-0,07253	-0,02375	0,01
Std_AIE	AIE	-0,07289	-0,10327	-0,08934	0,02
Std_NFE	NFE	0,27781	0,23178	0,91750	0,97
Std_NGFM	NGFM	0,80740	0,15127	0,23746	0,73
Std_CS	CS	0,88356	0,11635	0,26333	0,86
Std_DS	DS	0,59175	0,41145	0,17482	0,55
Std_PMS	PMS	0,37539	0,86557	0,27254	0,96
Std_PPE	PPE	0,94593	0,13772	0,07055	0,92
Std_ME	ME	0,86664	0,33147	0,11560	0,87

Tabela 26 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época A da safra 2015/2016.

		Fatores Rotacionados			Cumunalidades
		Fator1	Fator2	Fator3	
Std_POPULACAO	POPULACAO	-0,50873	0,62374	-0,13178	0,67
Std_DC	DC	0,39951	0,01822	0,26566	0,23
Std_AIE	AIE	-0,22177	0,94739	-0,0383	0,95
Std_AP	AP	-0,08026	0,96997	0,02617	0,95
Std_PPE	PPE	0,81680	-0,03863	0,21432	0,71
Std_NF	NF	0,15882	-0,00023	-0,14626	0,05
Std_NGFM	NGFM	0,91034	-0,26514	0,11419	0,91
Std_ME	ME	0,77745	-0,11521	0,51801	0,89
Std_DS	DS	0,10413	-0,04968	0,08955	0,02
Std_CS	CS	0,83789	-0,27388	0,08194	0,78
Std_PMS	PMS	0,25811	-0,00692	0,9188	0,91

Tabela 27 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época B da safra 2015/2016.

		Fatores Rotacionados			Cumunalidades
		Fator1	Fator2	Fator3	
Std_POPULACAO	POPULACAO	-0,20986	-0,48183	0,2314	0,33
Std_DC	DC	0,02818	0,06996	0,20522	0,05
Std_AIE	AIE	-0,01439	-0,05895	0,94755	0,90
Std_AP	AP	-0,08389	-0,1591	0,93482	0,91
Std_PPE	PPE	0,47468	0,49262	0,06049	0,47
Std_NF	NF	0,05992	0,04058	0,06337	0,01
Std_NGFM	NGFM	0,38251	0,6922	-0,1886	0,66
Std_ME	ME	0,76952	0,43258	-0,0519	0,78
Std_DS	DS	0,48998	0,24083	-0,14555	0,32
Std_CS	CS	0,28715	0,90574	-0,14739	0,92
Std_PMS	PMS	0,94404	0,20708	-0,05554	0,94

Tabela 28 – Autovetores e cumunalidade para os três primeiros fatores da época C da safra 2015/2106.

		Fatores Rotacionados			Cumunalidades
		Fator1	Fator2	Fator3	
Std_POPULACAO	POPULACAO	-0,43748	-0,16113	-0,17802	0,25
Std_DC	DC	0,3762	0,09907	0,20746	0,19
Std_AIE	AIE	0,0245	-0,06918	-0,0857	0,01
Std_AP	AP	0,02456	-0,03309	0,01413	0,00
Std_PPE	PPE	0,62779	0,44543	0,26109	0,66
Std_NF	NF	-0,01656	-0,06305	0,0194	0,00
Std_NGFM	NGFM	0,93041	0,12508	0,10451	0,89
Std_ME	ME	0,79772	0,40134	0,28274	0,88
Std_DS	DS	0,26024	0,10068	0,93349	0,95
Std_CS	CS	0,75315	0,31491	0,2269	0,72
Std_PMS	PMS	0,34091	0,92261	0,08248	0,97

As cumunalidades, as quais indicam o quanto da variância da variável resposta em questão pode ser explicada pelo número de fatores selecionados para análise, foram elevadas para a maioria dos componentes de rendimento do milho, tendo sido baixas para o fator população de plantas nas três épocas das duas safras avaliadas. Este resultado já era esperado, pois a população manteve-se constante e aleatoriamente distribuída durante todos os períodos de pesquisa.

As variáveis biométricas de caráter morfológico (altura de planta, diâmetro de colmo e altura de inserção da espiga), revelaram cumunalidades decrescentes de maneira geral em função das épocas de semeadura do milho (A, B e C).

Sob posse das cargas dos fatores (Tabelas 23 a 28), pode-se determinar o quanto estes são influenciados de maneira direta ou inversa pelas variáveis em questão, permitindo que se identifiquem características particulares de cada fator, as quais serão úteis na interpretação das demais análises (MANLY, 2008). Assim, dadas as cargas dos fatores, propõem-se denominá-los em conformidade com o proposto pela Tabela 29.

Tabela 29 – Denominação dos fatores em função das variáveis e de suas cargas para as três épocas, nas duas safras de milho. Ponta Grossa, PR.

Ano	Época	Fator	Denominação
1	A	1	Massa de grãos x população
1	A	2	Morfologia da espiga
1	A	3	Altura da planta e inserção de espiga
1	B	1	Número e massa de grãos na espiga
1	B	2	Altura da planta e inserção da espiga
1	B	3	Número de fileiras por espiga
1	C	1	Número e massa de grãos
1	C	2	Massa de mil grãos
1	C	3	Número de fileiras por espiga
2	A	1	Massa de grãos x população
2	A	2	Altura de planta e inserção da espiga + população
2	A	3	Massa de mil grãos
2	B	1	Massa de grãos
2	B	2	Número de grãos por fileira (comprimento da espiga)
2	B	3	Altura da planta e inserção da espiga
2	C	1	Massa e número de grãos
2	C	2	Massa de mil grãos
2	C	3	Diâmetro do sabugo

A interpretação das cargas dos fatores pode ser facilitada por uma análise de agrupamento (dendrogramas), onde as diferentes variáveis agrupam-se de acordo com a sua similaridade e de acordo com a variância explicada por cada agrupamento dentro do conjunto total de dados.

Os agrupamentos dos dados padronizados para as variáveis em análise nas diferentes épocas dos dois anos de pesquisa resultaram nos dendrogramas abaixo (Figuras 36 e 41).

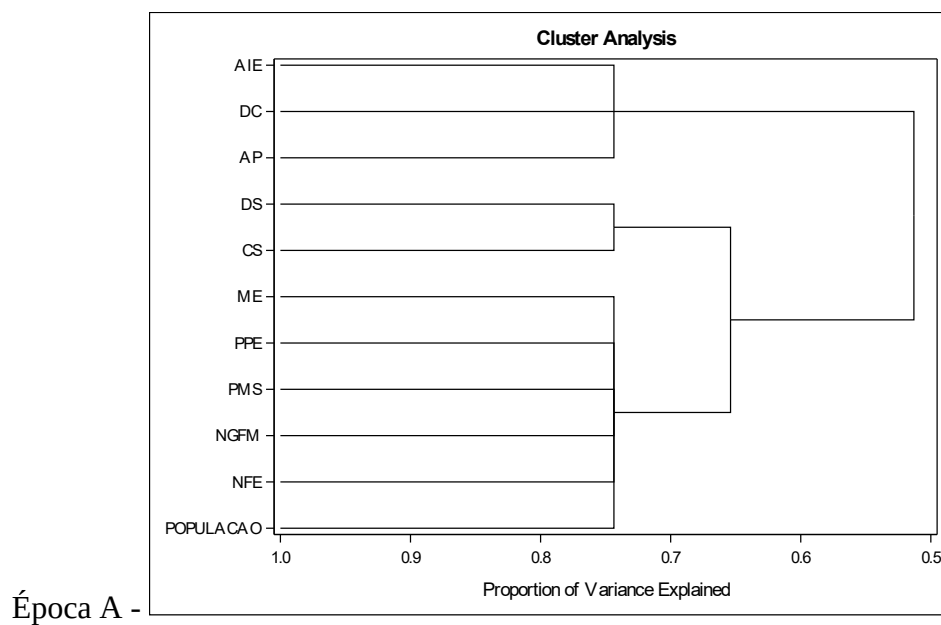


Figura 36 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas A, da safra 2014/2015.

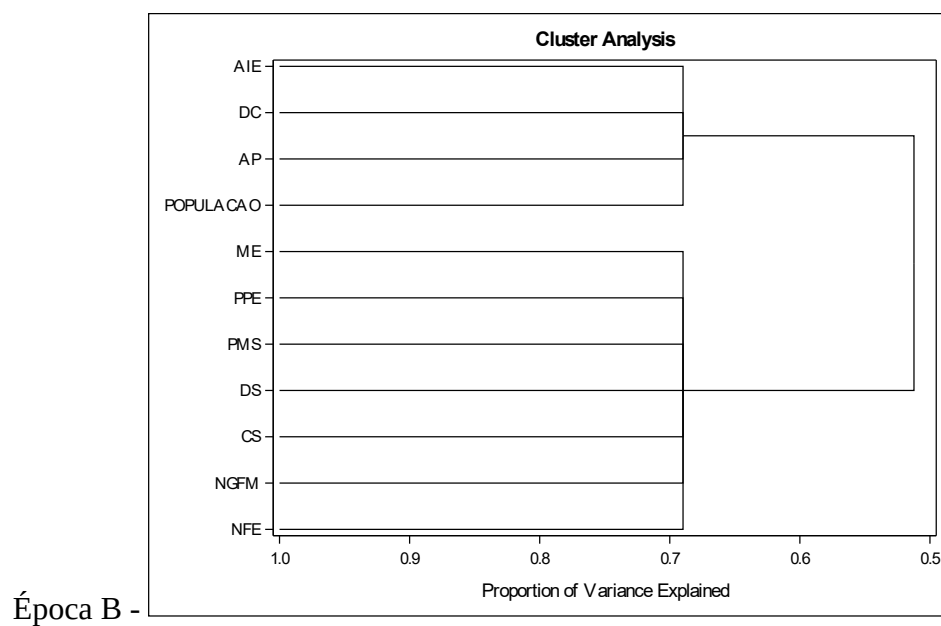


Figura 37 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas B, da safra 2014/2015.

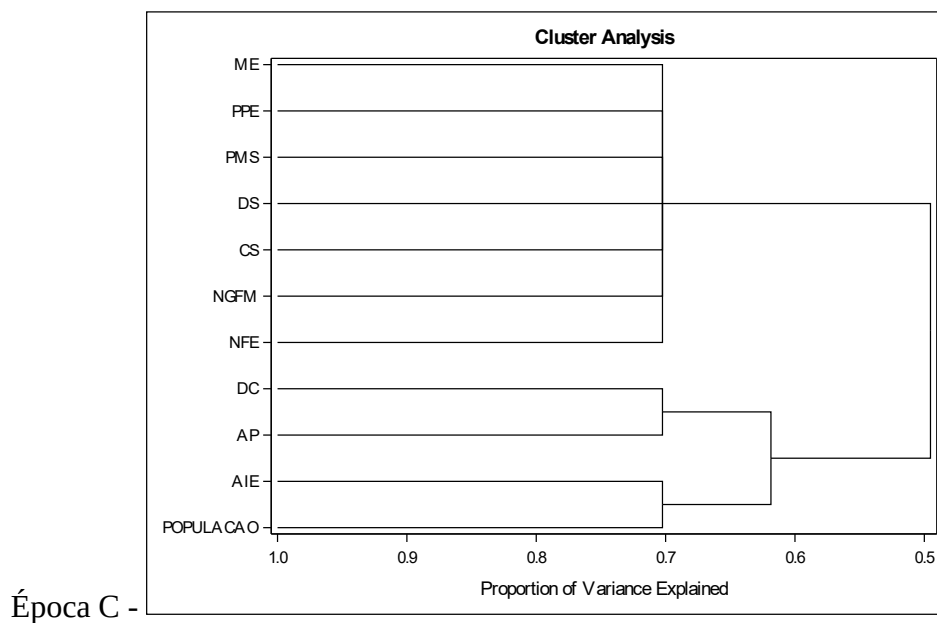


Figura 38 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas C, da safra 2014/2015.

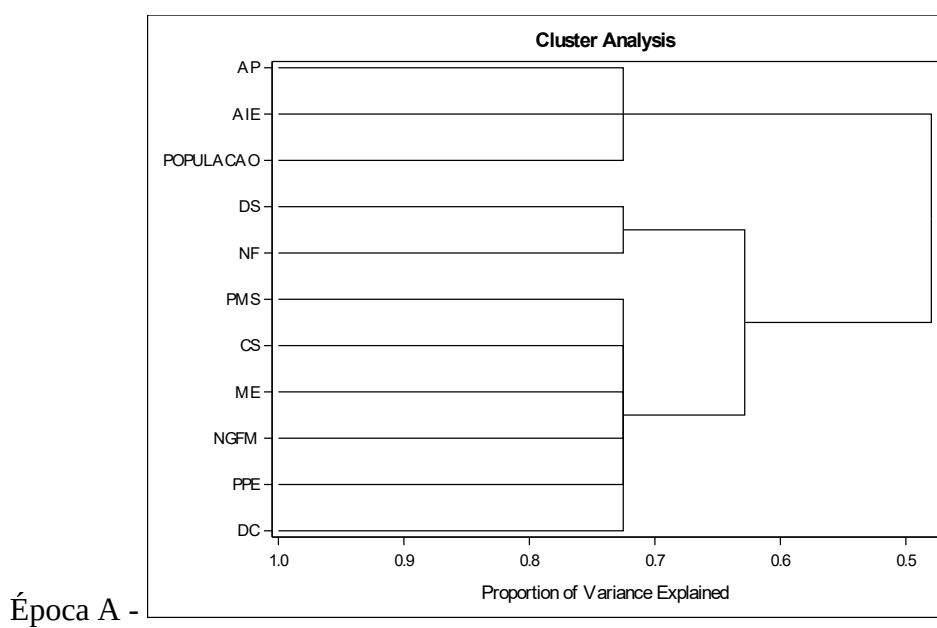


Figura 39 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas A, da safra 2015/2016.

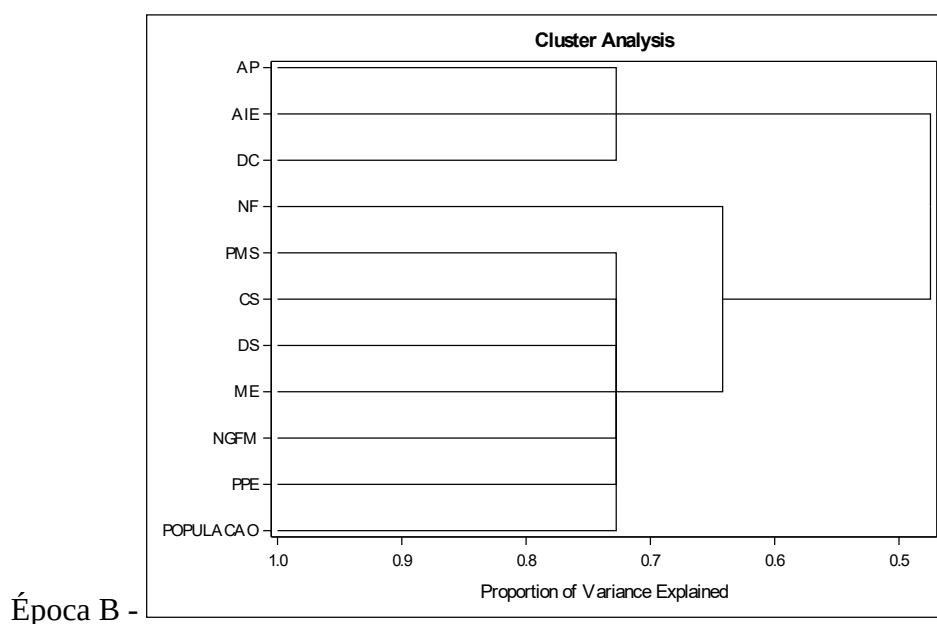


Figura 40 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas B, da safra 2015/2016.

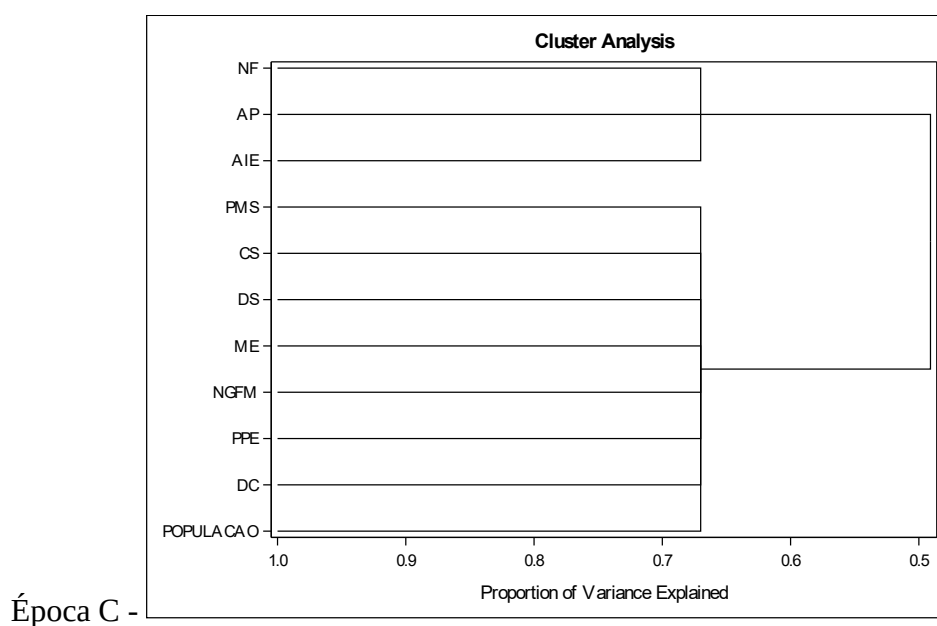


Figura 41 - Dendrogramas das variáveis padronizadas para as épocas C, da safra 2015/2016.

Na interpretação dos agrupamentos pode-se observar que para as três épocas houve agrupamento de variáveis de carácter morfológico (altura de planta, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo), de maneira distinta das variáveis de rendimento (número de fileiras por espiga, número médio de grãos por fileira, massa da espiga, massa de mil grãos).

Em uma interpretação mais apurada, para a época A da primeira safra (2014/2015), a população correlacionou-se com os componentes de rendimento do milho, sendo que o dendrograma apresenta mais dois grupos distintos, um de morfologia da planta e outro de morfologia da espiga, explicando 74,36% da variância total.

Para a época B da primeira safra (2014/2015), surgem dois grupos distintos, onde a população associa-se com as variáveis morfológicas da cultura e outro grupo é formado pelas variáveis de rendimento, explicando 68,98% da variância total.

Para a época C da primeira safra (2014/2015), o dendrograma resulta em três agrupamentos, sendo estes compostos pelas variáveis associadas à produtividade, outro pela morfologia da planta (altura e diâmetro de colmo) e um terceiro explicitando a relação de dependência entre a população de plantas e a altura de inserção da espiga na planta, explicando 70,24% da variância total.

De maneira análoga, para a época A da segunda safra (2015/2016), surgem três agrupamentos, onde a população associa-se com a altura de planta e de inserção da espiga e em outro grupo o diâmetro do sabugo e o número de fileiras se correlacionaram entre si, e os demais componentes de rendimento compõem um terceiro grupo, explicando 72,52% da variância total.

Na época B da segunda safra (2015/2016), a população e os demais componentes de rendimento, com exceção do número de fileiras por espiga, compõem um grupo. Este último aparece isoladamente e as variáveis morfológicas compõem o terceiro agrupamento, explicando 72,75% da variância total.

Por fim, na época C da segunda safra (2015/2016), surgem dois agrupamentos distintos, sendo o primeiro a população associada aos componentes de rendimento, e o segundo grupo as variáveis morfológicas em conjunto com o número de fileiras por espiga, explicando 67,01% da variância total.

Tanto os componentes de rendimento como os caracteres morfológicos afetam consistentemente a produtividade, bem como sua estimativa, pois o índice de colheita é a proporção da matéria seca acumulada pela planta que será convertida em grãos (MOSER et al., 2006), estando associado diretamente ao tamanho da planta (altura e diâmetro do colmo). Assim, não somente a massa seca total tem importância agrônômica como também o acúmulo desta durante o crescimento e desenvolvimento da cultura desde a semeadura até a colheita (FU

et al., 2011; RASHIDI; KESHAVARZPOUR, 2007; SEPASKHAH; FAHANDEZH-SAADI; ZAND-PARSA, 2011).

Buscando evidências sobre as possíveis diferenças entre as coberturas do solo (Solo Nu, Plantio Direto e Pousio) dentro das épocas para cada safra, foram utilizados os fatores 1, 2 e 3 citados anteriormente e procedeu-se a análise de variância com aplicação do teste F e posterior aplicação do Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, quando a estatística F foi significativa ($p < 0,05$) (Tabelas 30 e 31).

Tabela 30– Análise de variância com aplicação do teste F para os Fatores 1, 2 e 3 sob a influência das diferentes coberturas de solo, nas épocas A, B e C para a safra 2014/2015.

Época		A	Tukey	B	Tukey	C	Tukey
Fator 1	F	6,03		1,21		1,41	
	<i>p</i>	0,0052		0,3086		0,2556	
	PD	-0,5101	b	0,2284	a	-0,2955	a
	SN	0,563	a	0,0924	a	-0,0083	a
	SP	-0,0759	b	-0,3208	a	0,3038	a
Fator 2	F	30,87		1,55		0,55	
	<i>p</i>	<0,0001		0,2254		0,5791	
	PD	0,7244	a	-0,3132	a	-0,1664	a
	SN	-0,9751	b	0,3283	a	-0,0485	a
	SP	0,3055	a	-0,0151	a	0,2149	a
Fator 3	F	0,79		2,26		1,01	
	<i>p</i>	0,461		0,1179		0,3744	
	PD	0,3006	a	0,3937	a	-0,1863	a
	SN	-0,1529	a	-0,3714	a	0,303	a
	SP	-0,1021	a	-0,0223	a	-0,1166	a

Médias seguidas por letras iguais não se distinguem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, na coluna para cada fator.

Tabela 31 – Análise de variância com aplicação do teste F para os Fatores 1, 2 e 3 sob a influência das diferentes coberturas de solo nas épocas A, B e C para a safra 2015/2016.

Época		A	Tukey	B	Tukey	C	Tukey
Fator 1	F	3,86		0,02		1,16	
	<i>p</i>	0,0294		0,9762		0,3234	
	PD	-0,0266	ab	-0,00279	a	-0,1657	a
	SN	-0,4526	b	0,03628	a	-0,0932	a
	SP	0,4791	a	-0,03349	a	0,2589	a
Fator 2	F	6,99		0,10		2,23	
	<i>p</i>	0,0025		0,9077		0,1205	
	PD	0,04754	ab	-0,07996	a	-0,05595	a
	SN	-0,6258	b	0,08312	a	0,4002	a
	SP	0,5783	a	-0,00316	a	-0,3442	a
Fator 3	F	1,05		6,4		4,12	
	<i>p</i>	0,36		0,0039		0,0237	
	PD	-0,1525	a	0,2127	ab	0,5626	a
	SN	-0,1104	a	-0,5928	b	-0,377	b
	SP	0,263	a	0,38	a	-0,1856	b

Médias seguidas por letras iguais não se distinguem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, na coluna para cada fator.

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 30 e 31, houve efeito significativo para o fator 1 e fator 2 na época A da safra 2014/2016, bem como para os fatores 1 e 2 da época A e fator 3 para as épocas B e C da safra 2015/2016.

A partir do exposto na tabela 29, que discrimina os fatores de acordo com suas cargas, pode-se observar efeitos de cobertura do solo sobre os componentes de rendimento e estrutura da espiga na época A da safra 2014/2015, de componentes de rendimento x população e caracteres morfológicos para época A da safra 2015/2106, de caracteres morfológicos para a época B da safra 2015/2106, de estrutura da espiga para a época C da safra 2015/2106.

Comparando-se estes resultados com os obtidos pela análise de variância com aplicação do teste F para produtividade (Tabelas 15 e 16), onde a cobertura do solo não exerceu efeito significativo de maneira isolada sobre produtividade sob a maioria das épocas de semeadura nas duas safras e, tendo em vista que a população contribuiu na determinação dos fatores, pode-se afirmar que há concordância entre os resultados obtidos.

Para a época A da safra 2014/2015, na análise de variância com aplicação do teste F sobre a produtividade, observou-se efeito significativo somente para o fator população. Este efeito foi novamente significativo na análise de fatores com a população apresentando sinal

inverso ao dos componentes de rendimento, o que denota que crescem em sentidos opostos, ou seja, quanto maior a população de plantas, menores os valores de número médio de grãos por fileira, massa de mil grãos e massa total de grãos na espiga (Figuras 42 a 44).

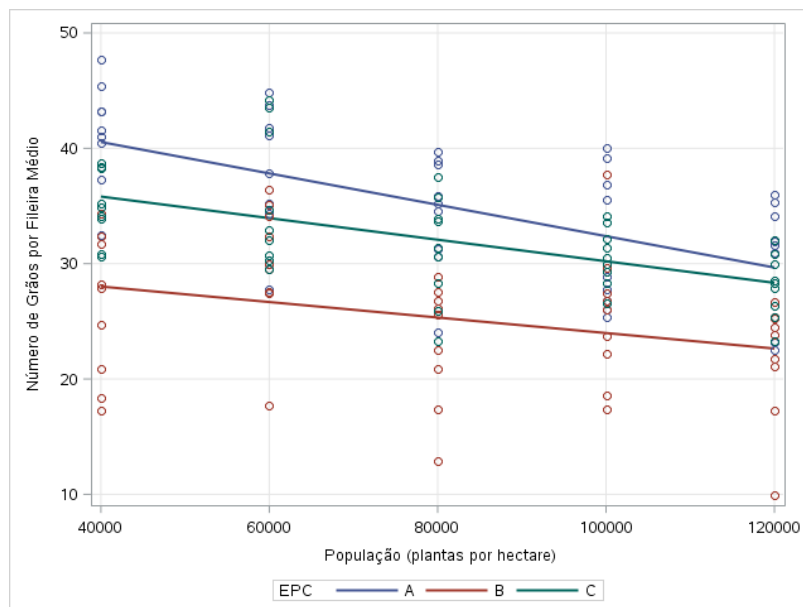


Figura 42 - Variação do número médio de grãos por fileira em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2014/2015.

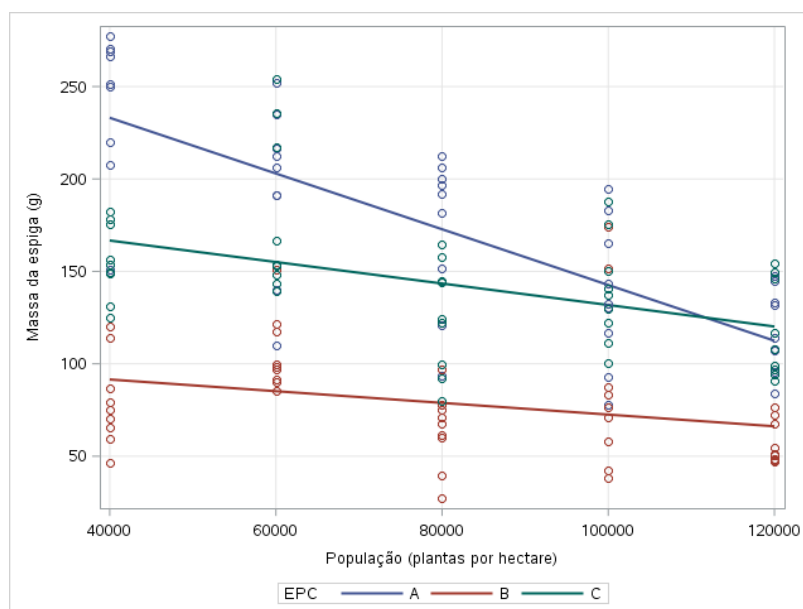


Figura 43 - Variação da massa de mil grãos em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2014/2015.

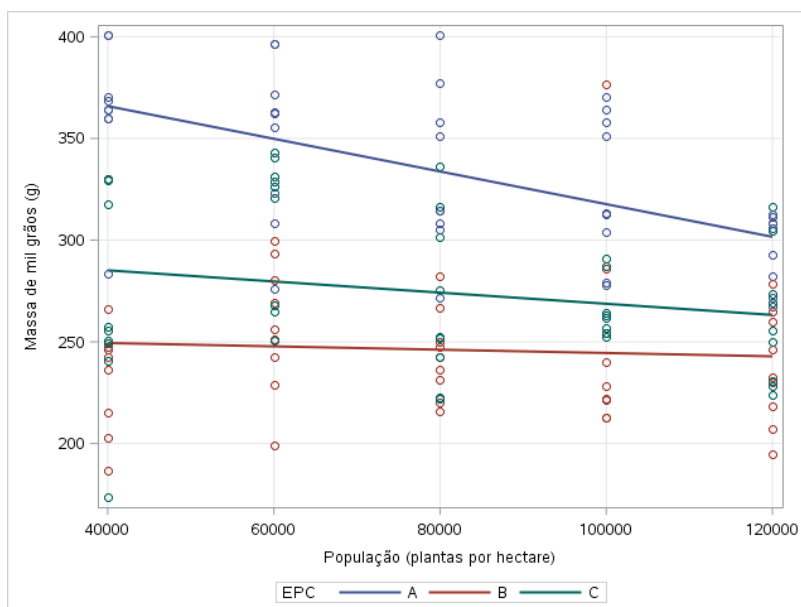


Figura 44 - Variação da massa de grãos na espiga em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2014/2015.

Estes resultados são similares ao obtidos por MILANDER et al. (2016), que pesquisando o efeito da população de plantas sobre os componentes de rendimento em diferentes híbridos na Europa e nos EUA, encontraram efeito da população de plantas sobre o número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, massa de mil grãos e número total de grãos por espiga. No entanto, há que se considerar que este aspecto é variável de acordo com o híbrido em questão, pois diferentes materiais genéticos apresentam comportamento distinto quanto a sua resposta biológica do milho a diferentes populações e o efeito do referido fator e das demais práticas culturais adotadas sobre os componentes de rendimento e produtividade (CAI et al., 2014; TOKATLIDIS; KOUTROUBAS, 2004).

A ausência de cobertura no solo (SN) agiu de forma distinta para o Fator 1 e Fator 2 da primeira época (A) da safra 2014/2015. Para o primeiro fator, que engloba os efeitos de população de maneira significativa, observou-se expressão maior da ausência de cobertura do que na presença desta. Já para o segundo fator, o inverso ocorreu, sendo seu efeito mais expressivo sob as condições de cobertura de solo do que sob a ausência desta.

Para a época A da safra 2015/2016, foi observado o mesmo que para o Fator 1 da época A da safra 2014/2015 – o efeito associado de população e de variáveis ligadas aos componentes de rendimento de forma inversa. Entretanto, a distinção entre as coberturas não foi evidenciada

como na primeira safra, sendo que a cobertura de palha de aveia não apresentou diferenças significativas em relação ao solo nu e a área de plantas voluntárias.

O mesmo comportamento quanto às coberturas de solo foi apresentado pelo Fator 2. No entanto para este fator, a população age de maneira direta em associação aos componentes altura de planta e altura de inserção de espiga. Assim, plantas mais altas e com inserção de espiga mais elevada foram observadas sob populações maiores (Figuras 45 e 46).

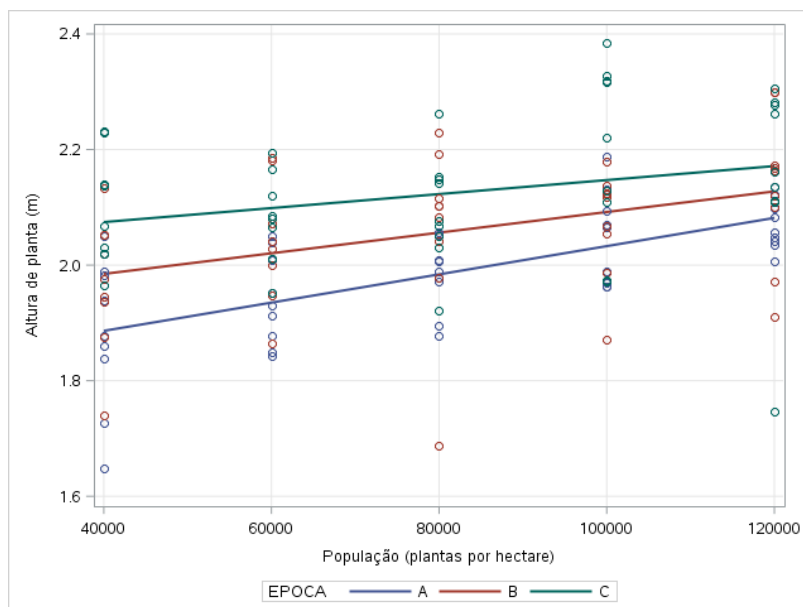


Figura 45 - Variação da altura de planta e em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

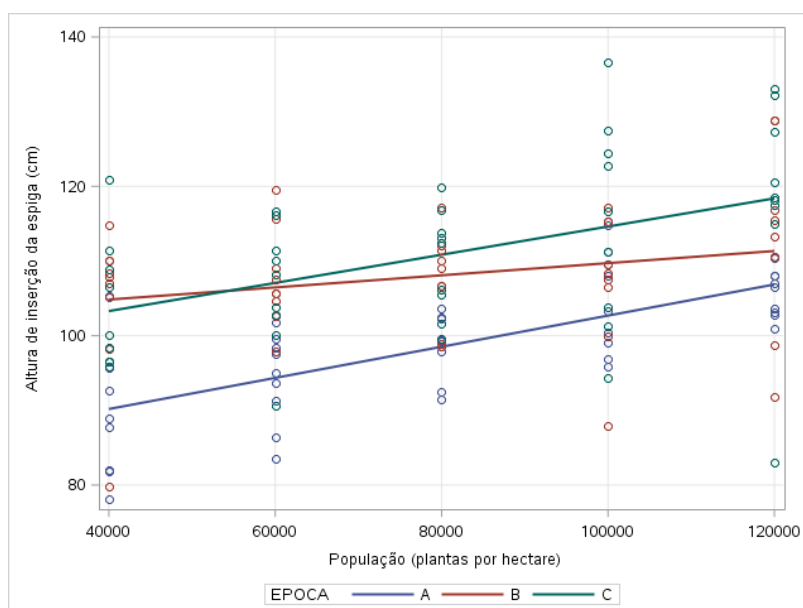


Figura 46 - Variação da altura de inserção da espiga em função da população de plantas por hectare para a época A da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

O comportamento da variação da altura de plantas e de altura de inserção de espiga foi mais expressivo quanto à cobertura do solo sob população de 40.000 plantas ha⁻¹ (Figura 47).

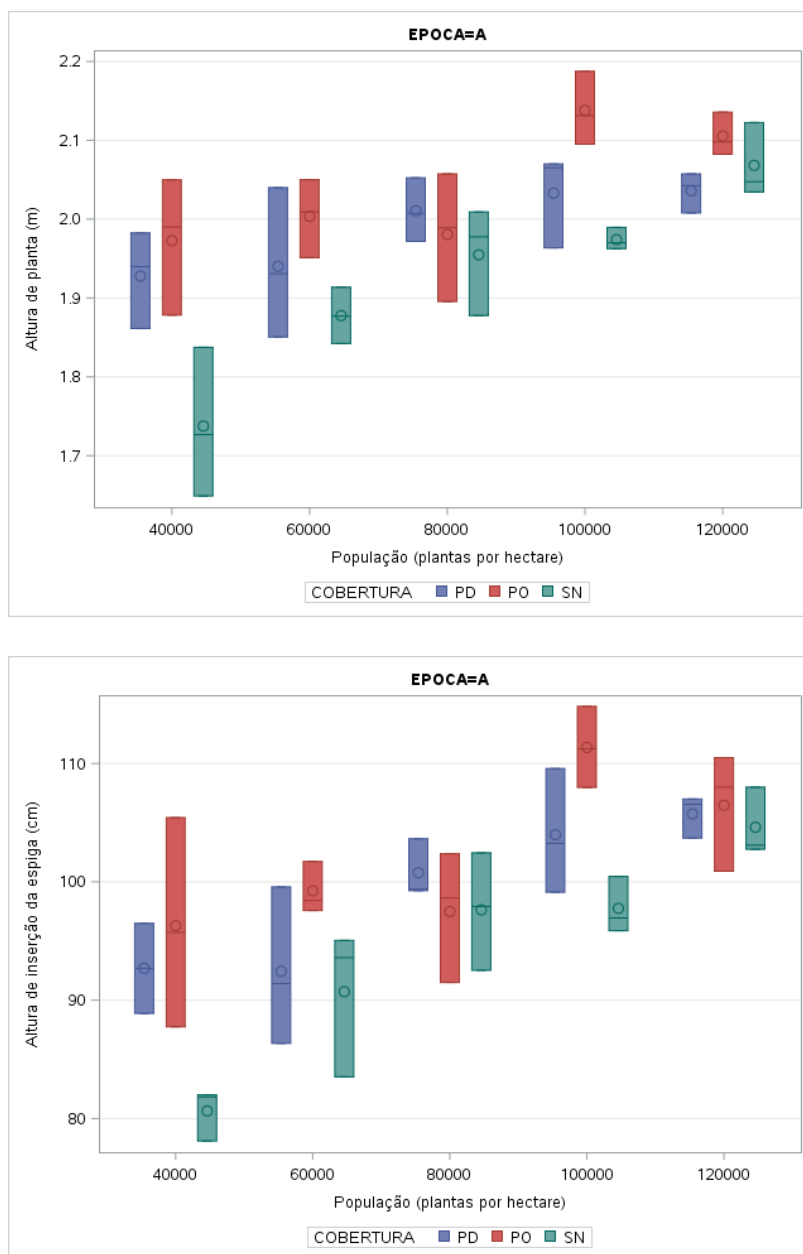


Figura 47 - Variação da altura de planta e da altura de inserção da espiga em função da população de plantas por hectare e da cobertura do solo (PD – palha de aveia, PO – plantas voluntárias, SN – solo nu) para a época A da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

O mesmo comportamento apresentado pelo fator 2 da época A da safra 2015/2016 foi observado para o fator 3 da época B da mesma safra.

O fator 3 da época C expressa quase que exclusivamente o diâmetro do sabugo. O seu comportamento pode ser demonstrado na Figura 48. O diâmetro do sabugo foi significativamente afetado pelo sistema de semeadura de milho no trabalho conduzido por GUL et al. (2015). Esta característica também varia de acordo com a época de semeadura e o material genético (BAVEC; BAVEC, 2002; KHARAZMSHAHI; ZAHEDI; ALIPOUR, 2015). Os teores de matéria orgânica do solo afetaram, entre outras características, o diâmetro do colmo no trabalho realizado por KHAN; MALIK; SALEEM (2008). Destarte, sabendo-se do aumento potencial do teor de matéria orgânica conferido pela não mobilização do solo e uso de culturas de inverno repositoras (MELLEK et al., 2010), pode-se conceber que o sistema de cultivo sob palha de aveia tenha contribuído positivamente para o aumento do diâmetro do sabugo a ponto de diferenciá-lo dos demais sistemas.

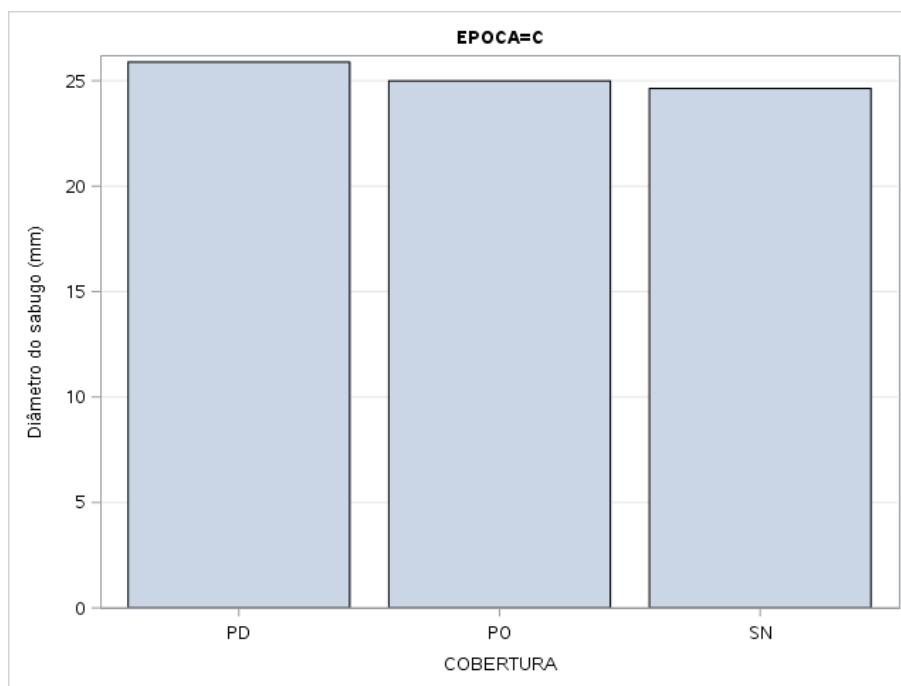


Figura 48 - Variação do diâmetro de sabugo em função da cobertura do solo (PD – palha de aveia, PO – plantas voluntárias, SN – solo nu) para a época C da safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Procedendo-se a uma análise de função discriminante canônica, pode-se observar que o comportamento das coberturas do solo foi similar nas épocas B e C para as duas safras (2014/2015 e 2015/2016) de cultivo, culminando na reclassificação destas por meio da análise (Tabelas 32 e 33). Corroborando com os resultados expostos anteriormente, assume-se que quanto mais tarde for o período de implantação da cultura, dentro do período recomendado, menos representativa passa a ser a cobertura do solo na determinação das características da

cultura, ficando mais evidente a ação das condicionantes meteorológicas locais sobre a resposta biológica do milho (BONELLI et al., 2016; SRIVASTAVA et al., 2017; TSIMBA et al., 2013b; YANG et al., 2017).

Tabela 32– Classificação das observações por meio das funções discriminantes canônicas para as épocas A, B e C da safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Número de observações e percentual de classificação dentro de Cobertura (Época A)				
COBERTURA	PD	SN	SP	Total
PD	14	0	0	14
	100,00	0,00	0,00	100,00
SN	0	15	0	15
	0,00	100,00	0,00	100,00
SP	3	0	12	15
	20,00	0,00	80,00	100,00
Total	17	15	12	44
	38,64	34,09	27,27	100,00
Primários	0,31818	0,34091	0,34091	

Número de observações e percentual de classificação dentro de Cobertura (Época B)				
COBERTURA	PD	SN	SP	Total
PD	11	3	1	15
	73,33	20,00	6,67	100,00
SN	0	13	2	15
	0,00	86,67	13,33	100,00
SP	3	1	11	15
	20,00	6,67	73,33	100,00
Total	14	17	14	45
	31,11	37,78	31,11	100,00
Primários	0,33333	0,33333	0,33333	

Número de observações e percentual de classificação dentro de Cobertura (Época C)				
COBERTURA	PD	SN	SP	Total
PD	11	2	2	15
	73,33	13,33	13,33	100,00
SN	3	11	1	15
	20,00	73,33	6,67	100,00
SP	1	1	13	15
	6,67	6,67	86,67	100,00
Total	15	14	16	45
	33,33	31,11	35,56	100,00
Primários	0,33333	0,33333	0,33333	

Tabela 33– Classificação das observações por meio das funções discriminantes canônicas para as épocas A, B e C, da safra 2015/2016.

Número de observações e percentual de classificação dentro de Cobertura (Época A)				
COBERTURA	PD	PO	SN	Total
PD	8 53,33	4 26,67	3 20,00	15 100,00
PO	2 13,33	13 86,67	0 0,00	15 100,00
SN	0 0,00	0 0,00	15 100,00	15 100,00
Total	10 22,22	17 37,78	18 40,00	45 100,00
Primários	0,33333	0,33333	0,33333	

Número de observações e percentual de classificação dentro de Cobertura (Época B)				
COBERTURA	PD	PO	SN	Total
PD	13 86,67	0 0,00	2 13,33	15 100,00
PO	1 6,67	14 93,33	0 0,00	15 100,00
SN	4 26,67	0 0,00	11 73,33	15 100,00
Total	18 40,00	14 31,11	13 28,89	45 100,00
Primários	0,33333	0,33333	0,33333	

Número de observações e percentual de classificação dentro de Cobertura (Época C)				
COBERTURA	PD	PO	SN	Total
PD	13 86,67	1 6,67	1 6,67	15 100,00
PO	3 20,00	10 66,67	2 13,33	15 100,00
SN	0 0,00	2 13,33	13 86,67	15 100,00
Total	16 35,56	13 28,89	16 35,56	45 100,00
Primários	0,33333	0,33333	0,33333	

Complementarmente, na tentativa de identificar o quanto as variáveis numéricas padronizadas explicam as alterações na produtividade obtida nas três épocas das duas safras (2014/2015 e 2015/2016) de pesquisa, realizou-se a análise de regressão múltipla, utilizando-

se como variável dependente a produtividade e como variáveis independentes as mesmas utilizadas na análise de fatores já padronizadas (Tabelas 34 e 35).

Tabela 34 – Coeficientes da regressão múltipla para a produtividade nas três épocas para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

	Parâmetros Estimados		
	Produtividade – A	Produtividade – B	Produtividade – C
Interceptação	12643,40185	6055,126023	11009,72775
População	4538,25189	2020,930551	3980,42605
AP	282,35607	-57,830028	-128,26343
DC	-569,90267	-87,552266	404,17002
AIE	-736,87311	20,201847	-127,56918
NFE	867,28404	-50,66578	-227,93039
NGFM	417,14644	-202,65896	-660,51797
CS	1301,60876	202,51724	330,32747
DS	-962,72697	234,930323	-171,9517
PMS	515,60871	16,40957	207,59425
PPE	-881,70583	-613,386703	451,5927
ME	3430,41732	2927,151935	2724,22404
R²	0,8946	0,9502	0,9750

Tabela 35– Coeficientes da regressão múltipla para a produtividade nas três épocas para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

	Parâmetros Estimados		
	Produtividade – A	Produtividade – B	Produtividade – C
Interceptação	11276,0645	11868,45351	8940,368455
POPULACAO	3894,51828	4161,88482	3110,443436
DC	-421,57118	102,30598	-238,279843
AIE	-6,61107	-295,3648	101,014071
AP	102,70653	343,92038	82,328676
PPE	86,92183	-135,45554	186,072156
NF	339,89071	-150,14859	50,01071
NGFM	-663,05075	117,53089	263,028545
ME	2150,28842	2330,92306	906,315123
DS	-336,54018	36,09978	236,242507
CS	435,22878	-308,84853	1,171149
PMS	459,09833	-106,85895	85,269347
R²	0.9594	0.9666	0.9617

Por ter sido obtida a partir de variáveis padronizadas, a análise dos coeficientes de cada variável pode ser feita de maneira indistinta, ou seja, as suas unidades não interferem na

interpretação. Os sinais positivos nos coeficientes das variáveis indicam que seu aumento resulta em aumento da produtividade, sendo o inverso também verdadeiro.

Os valores do ponto de interceptação estão de acordo com as médias gerais de produtividade para as diferentes épocas nas duas safras (2014/2015 e 2015/2016) (Tabela 36).

Tabela 36 – Valores médios de produtividade (kg ha^{-1}) para as duas safras (2014/2015 e 2015/2016) nas três épocas de implantação do experimento. Ponta Grossa, PR.

SAFRA 2014/2015							
Época	Nº	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Erro Padrão
A		45	12616,93	3313,71	6044,18	19461,91	493,98
B		45	6055,13	2951,85	1866,36	17433,17	440,04
C		45	11009,73	3771,58	4990,35	18774,38	562,23
SAFRA 2015/2016							
Época	Nº	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Erro Padrão
A		45	11276,06	3293,40	5584,48	17742,31	490,95
B		45	11868,45	3573,36	5288,46	20147,72	532,68
C		45	8940,37	2655,36	4135,24	14421,59	395,83

De maneira geral, as regressões resultaram em aumento de produtividade com o aumento da população de plantas, assim como com o aumento de massa da espiga. As variáveis de coeficientes positivos apresentaram relação direta com a produtividade, sendo o inverso também verdadeiro.

5.4 – Elementos meteorológicos e a produtividade da cultura do milho

O clima da região de Ponta Grossa – PR é Classificado como Cfb segundo Köppen, clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2017) .

As normais climatológicas da região de Ponta Grossa – PR, fornecidas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), baseadas no período compreendido entre os anos de 1954 e 2001, encontram-se na abaixo Tabela 37.

Tabela 37 – Normais climatológicas baseadas no período de 1954 a 2001, para a região de Ponta Grossa – PR.

DESATIVADA

ESTACAO : PONTA GROSSA / CODIGO: 02550024 / LAT: 25.13 S / LONG: 50.01 W / ALT: 880 M

PER.:1954/2001

MES	TEMPERATURA DO AR (.c)						U.REL		VENTO		PRECIPITACAO				EVAPOR.		INSOL.
	média máxima	média mínima	máxima abs	ano	min abs	ano	média comp	média %	dir pr.	m/s	total	máxima 24h	ano	dias chuva	total mm	total horas	
JAN	27,6	17,2	36,2	58	9,0	80	21,4	78	NE	3,3	186,5	119,6	97	15	83,4	178,1	
FEV	27,4	17,4	33,6	64	9,4	57/64	21,4	79	NE	3,0	161,0	80,8	94	14	68,2	163,5	
MAR	26,4	16,2	32,6	63/64	4,1	87	20,3	80	NE	2,9	137,8	102,0	96	13	70,7	175,5	
ABR	24,2	13,8	31,1	62	0,0	71	18,0	79	NE	3,2	101,3	121,0	65	8	67,0	177,0	
MAI	21,5	10,5	29,6	95	-3,4	62	15,1	80	NE	3,1	116,3	115,0	93	8	63,0	179,9	
JUN	20,0	9,2	28,0	vrs	-4,0	67	13,9	79	NE	3,2	117,7	85,6	73	8	59,2	165,5	
JUL	20,2	9,1	29,8	67	-6,0	75	13,8	77	NE	3,6	95,8	106,4	95	7	74,1	191,1	
AGO	21,8	10,2	31,9	55/94	-5,8	63	15,2	75	NE	3,7	78,9	77,0	57	7	87,5	190,8	
SET	22,6	11,8	33,2	94	-1,0	72	16,4	75	NE	4,0	135,5	72,0	84	10	84,1	152,8	
OUT	24,3	13,5	33,2	63	1,8	65	18,0	76	NE	3,9	152,7	81,8	57	11	85,1	173,8	
NOV	25,9	14,8	35,8	85	2,7	70	19,5	73	NE	3,9	119,2	89,9	97	10	94,2	190,9	
DEZ	26,8	16,3	34,4	85	5,0	54/70	20,8	75	NE	3,6	151,0	89,5	55	13	93,7	176,4	
ANO	24,1	13,3					17,8	77,2			1554			126	930	2115	
EXT			36,2	01/58	-6,0	07/75						121,0	04/65				

EB/

Fonte : http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Ponta_Grossa.htm

Analisando-se os últimos 17 anos de dados coletados pelo SIMEPAR (Apêndice A), observa-se uma ligeira variação tanto nas temperaturas (médias, mínimas e máximas) quanto na precipitação. A variação das temperaturas máxima, média e mínima para as duas safras avaliadas encontra-se representada na Figura 49.

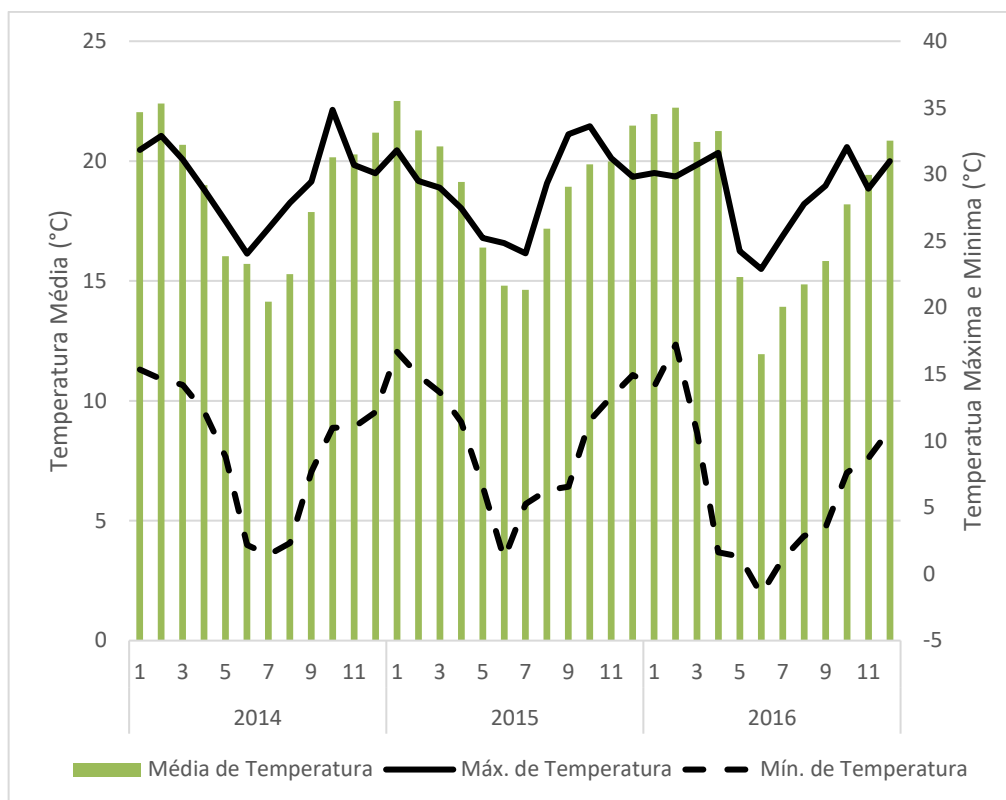


Figura 49 - Regime de temperatura durante o período de realização do ensaio (2014 a 2016). Ponta Grossa, PR.

Como definido pela classificação climática de Köppen, a fórmula climática Cfb indica que não existe um período seco definido, podendo ser comprovado pela distribuição das precipitações (Figura 50) e verificou-se que os valores de umidade relativa do ar, em média, estiveram sempre acima de 65% no transcorrer de todas as safras analisadas (Figura 51).

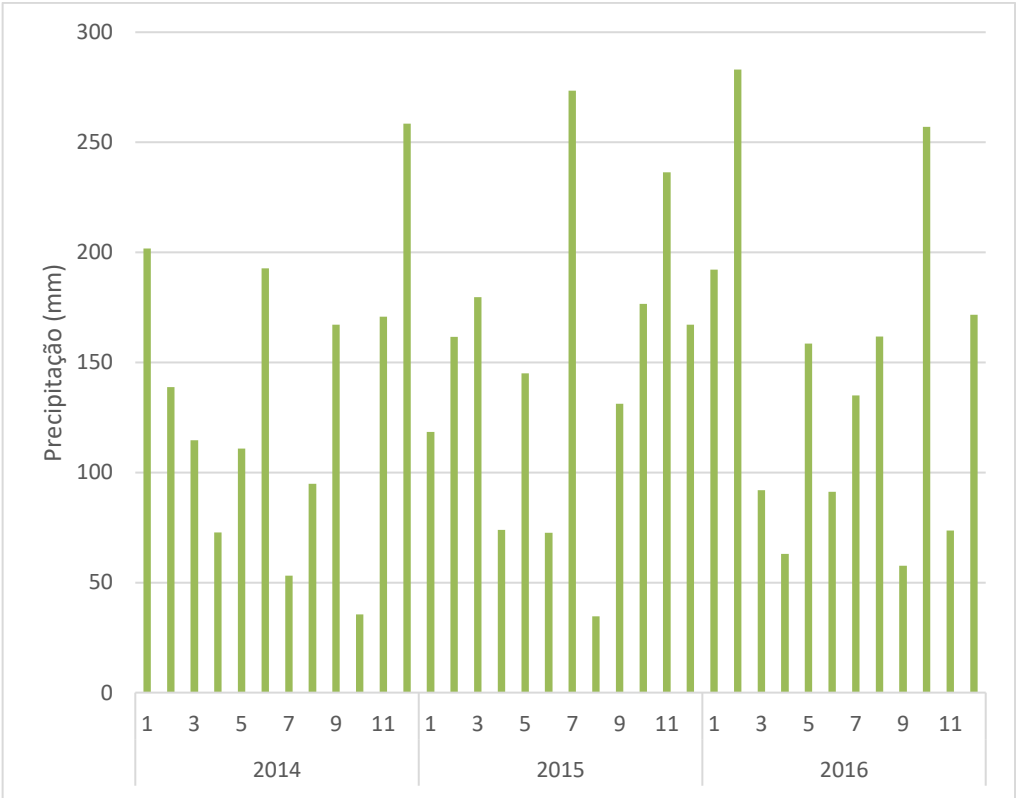


Figura 50 – Precipitação pluvial (mm) durante o período de realização do ensaio. Ponta Grossa, PR.

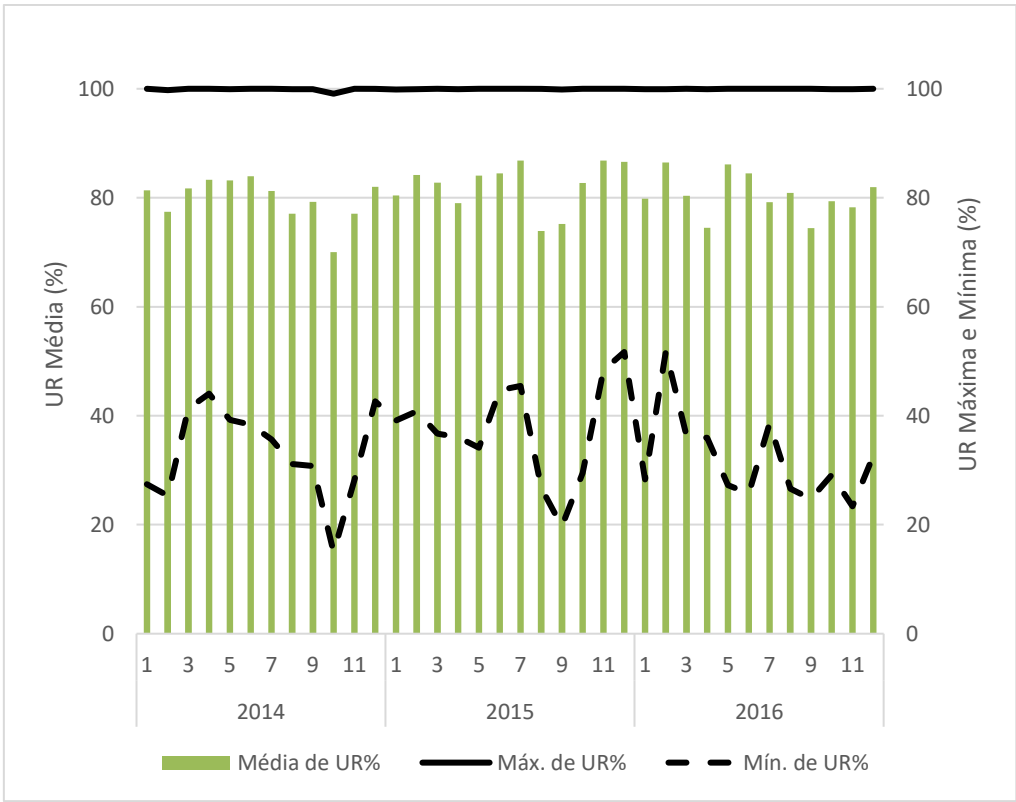


Figura 51 - Umidade relativa do ar (%) média, mínima e máxima para o período de realização do ensaio. Ponta Grossa, PR.

A evapotranspiração potencial ou de referência (ETp ou ETo) determinada pelo método de Penmann Simplificado (VILLA NOVA et al., 2006), apresentou picos de 6,0 mm dia⁻¹ para a safra 2014/2015 e de 5,8 mm dia⁻¹ para a safra 2015/2016 (Figura 52).

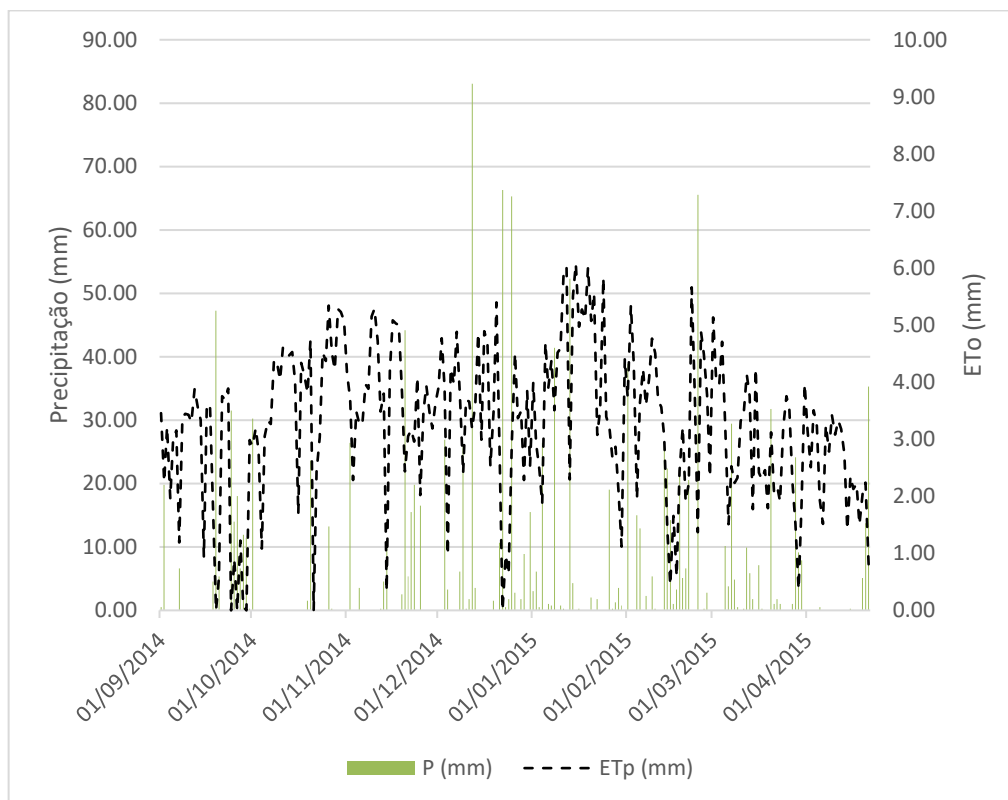


Figura 52 - Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração potencial (ETp) para a safra 2014/2015.

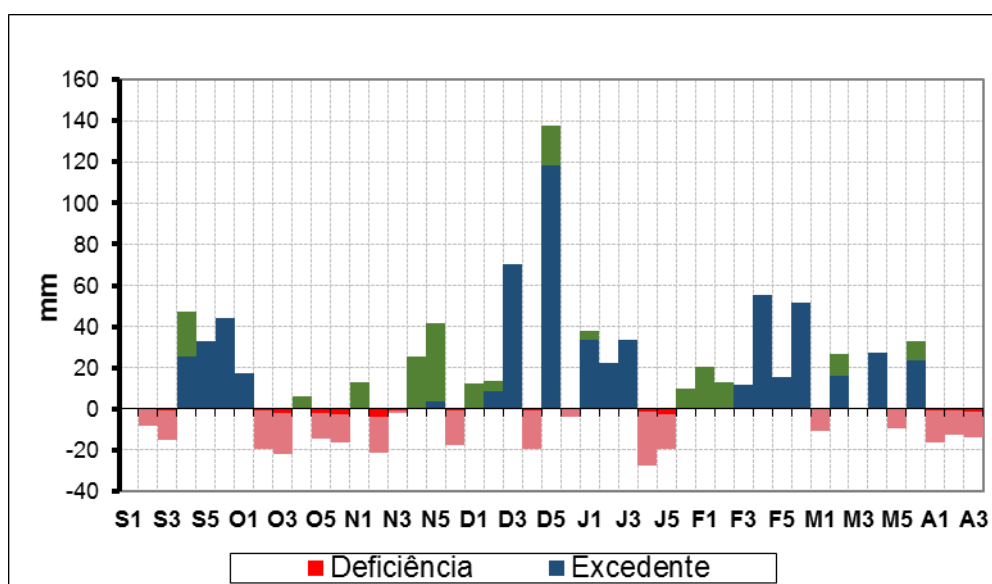


Figura 53 - Balanço hídrico sequencial para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

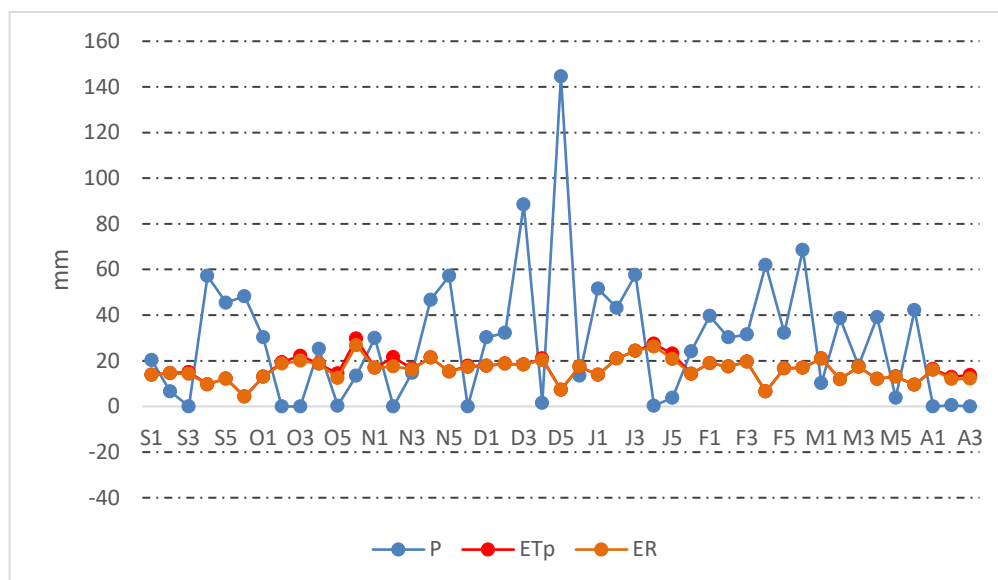


Figura 54 - Precipitação pluvial (P), Evapotranspiração potencial (ETp) e Evapotranspiração real (ETR) para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

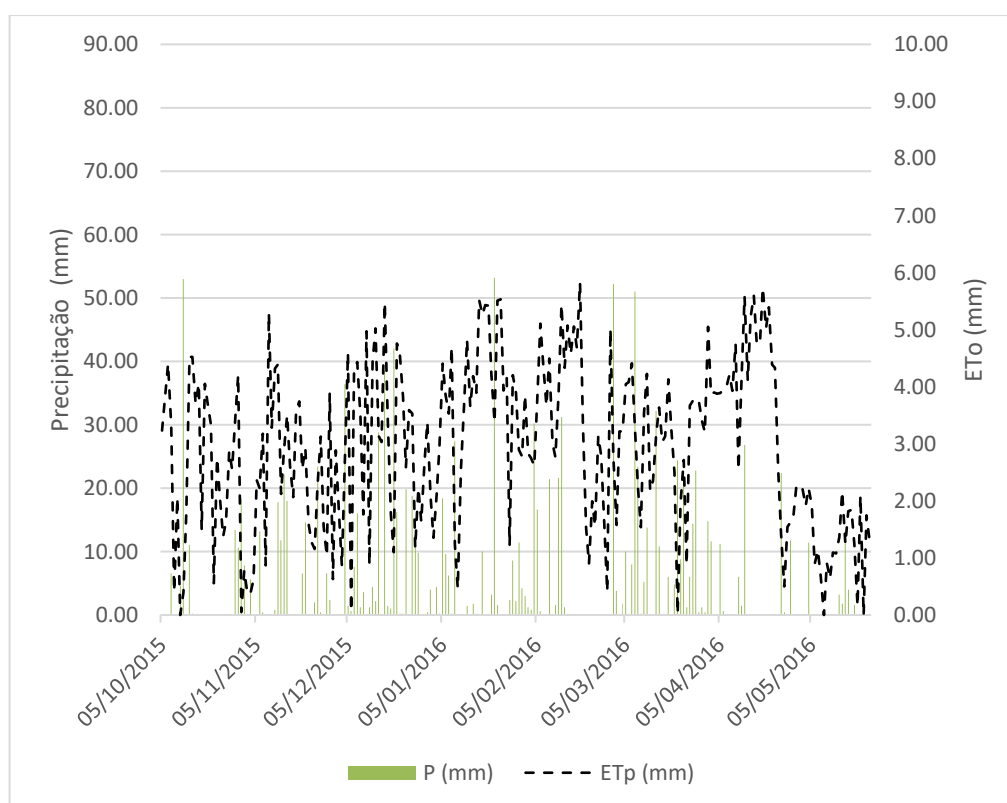


Figura 55 – Precipitação pluvial (P) e evapotranspiração potencial (ETp) para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

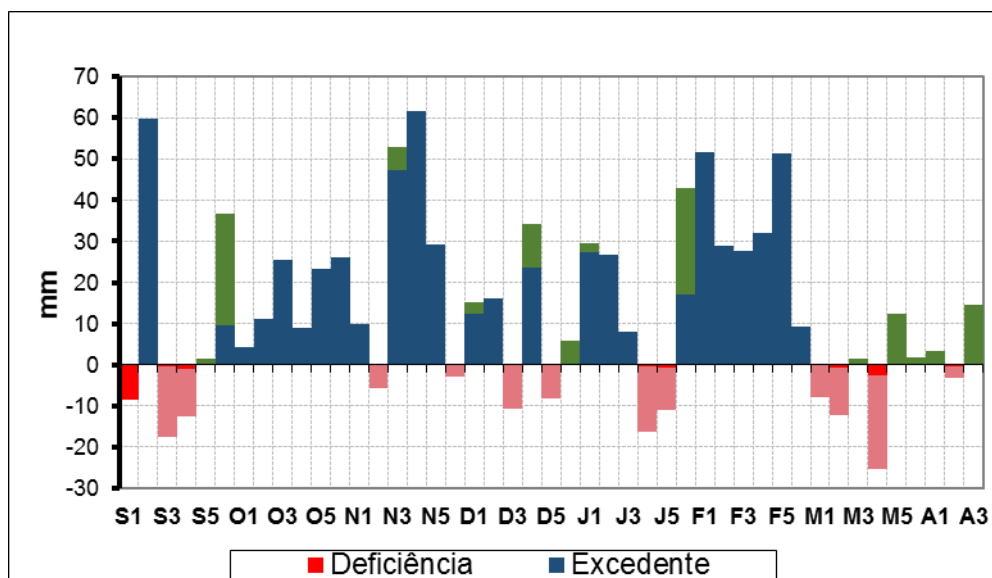


Figura 56 - Balanço hídrico sequencial para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

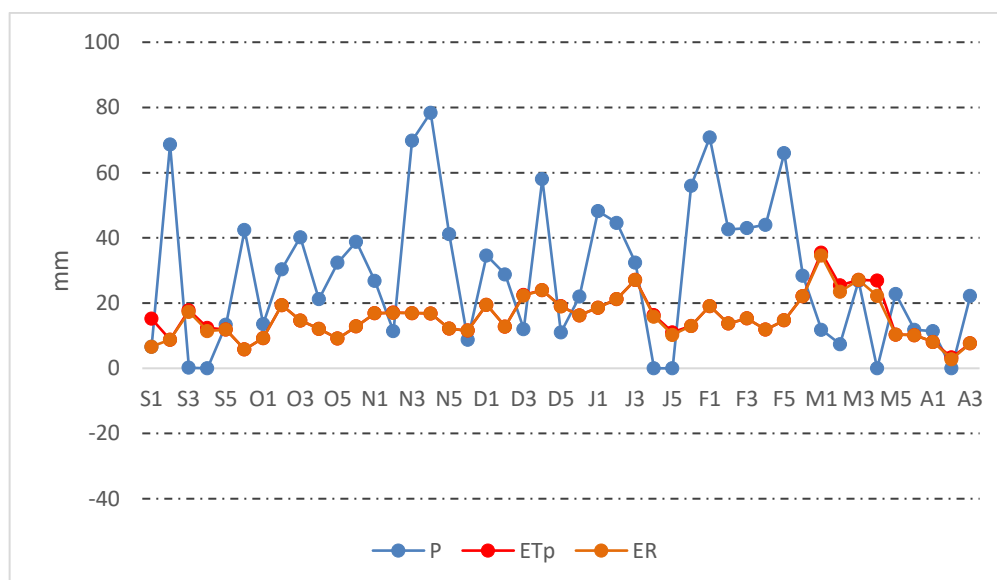


Figura 57 – Precipitação pluvial (P), evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração real (ETR) para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Não se observou durante o período de realização do ensaio para nenhuma das duas safras (2014/2015 e 2015/2016), períodos de déficit hídrico que possam ter comprometido significativamente o crescimento, desenvolvimento e produção da cultura, nos subperíodos iniciais de desenvolvimento, florescimento e enchimento de grãos (BERGAMASCHI et al., 2006; CARVALHO et al., 2013; MONTEIRO, 2009; PENARIOL et al., 2003). Para as três épocas de semeadura nas duas safras o balanço hídrico sequencial na escala quinquidial

manteve-se positivo, havendo apenas pequenos períodos de retirada de água do solo que condicionasse a existência de deficiência hídrica (Figuras 53 e 56) para as duas safras.

As temperaturas médias do ar se mantiveram acima da temperatura basal mínima para a cultura do milho (8°C), ocorrendo períodos de pico horários de temperatura máxima superior a 30°C, classificados como “outliers” (Figuras 58, 59 e 60). Foram observadas ocorrências de temperaturas noturnas superiores a 30°C, o que provavelmente resultou em aumento do consumo de fotoassimilados, podendo ter ocasionado redução do potencial produtivo da cultura, dependendo de sua duração. A importância das relações entre temperaturas diurnas e noturnas foi reportada por KIM et al. (2007) que, avaliando o efeito de ambientes enriquecidos com CO₂, observaram o efeito da temperatura sobre os processos de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho associado com a produção, independente dos níveis de CO₂ disponíveis.

Também a ocorrência de temperaturas baixas durante a noite, principalmente no subperíodo de enchimento de grãos, pode resultar em redução da produtividade da cultura (ZHOU et al., 2016). Durante o período de cultivo nas duas safras (2014/2015 e 2015/2016) as temperaturas mínimas noturnas, determinadas entre o período das 18h00 de um dia e as 6h00 do dia seguinte, mantiveram-se acima dos 10 °C, entendendo-se dessa forma que estas não agiram de maneira deletéria sobre a produtividade em nenhuma das épocas, sob nenhum dos sistemas cobertura. O efeito da redução da temperatura noturna (2 horas após o final do fotoperíodo) resultando na redução do porte das plantas de milho é discutido por YANG; MASSA; MITCHELL (2014). A altura das plantas de milho não apresentou diferenças significativas entre as épocas de implantação, nas duas safras (2014/2015 e 2015/2016), mesmo havendo tendência de redução das temperaturas noturnas a partir do mês de janeiro.

A importância da temperatura reside ainda nos seus efeitos sobre o uso da água pela cultura. A partir dos resultados propostos e discutidos por GHOLIPOOR et al. (2013), temperaturas médias de 20°C favorecem a utilização da água disponível pela planta de milho, condição essa que pode ser observada nos meses de cultivo durante as duas safras (2014/2015 e 2015/2016), corroborando com a disponibilidade de água demonstrada no balanço hídrico.

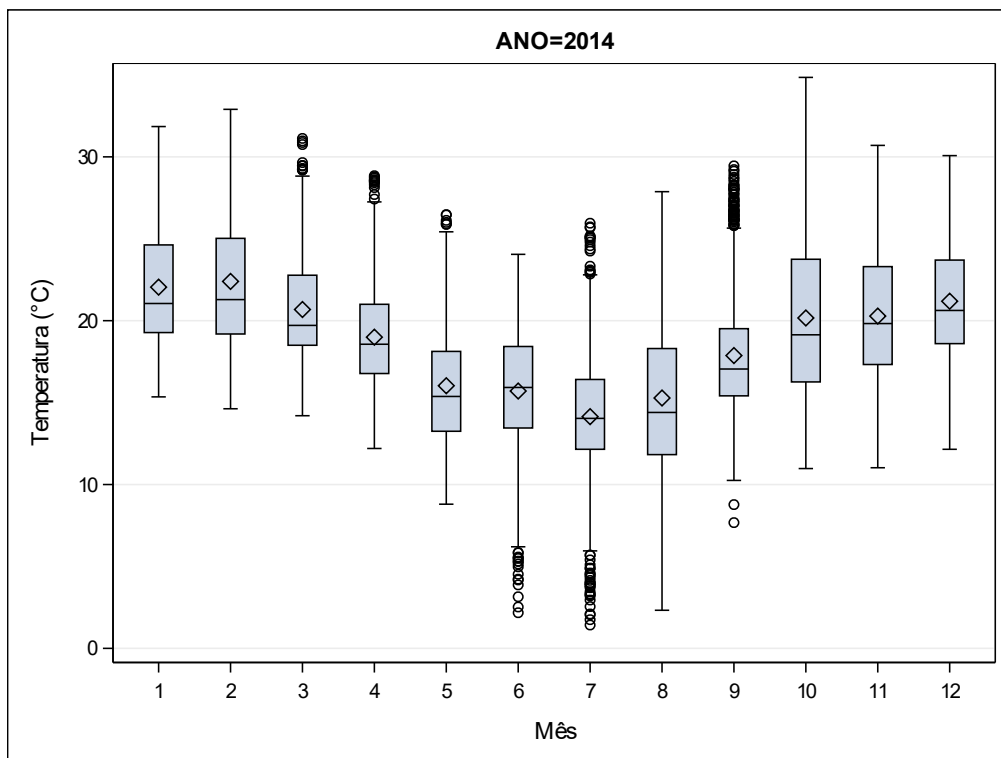


Figura 58 - Variação das temperaturas médias diárias no ano de 2014. Ponta Grossa, PR.

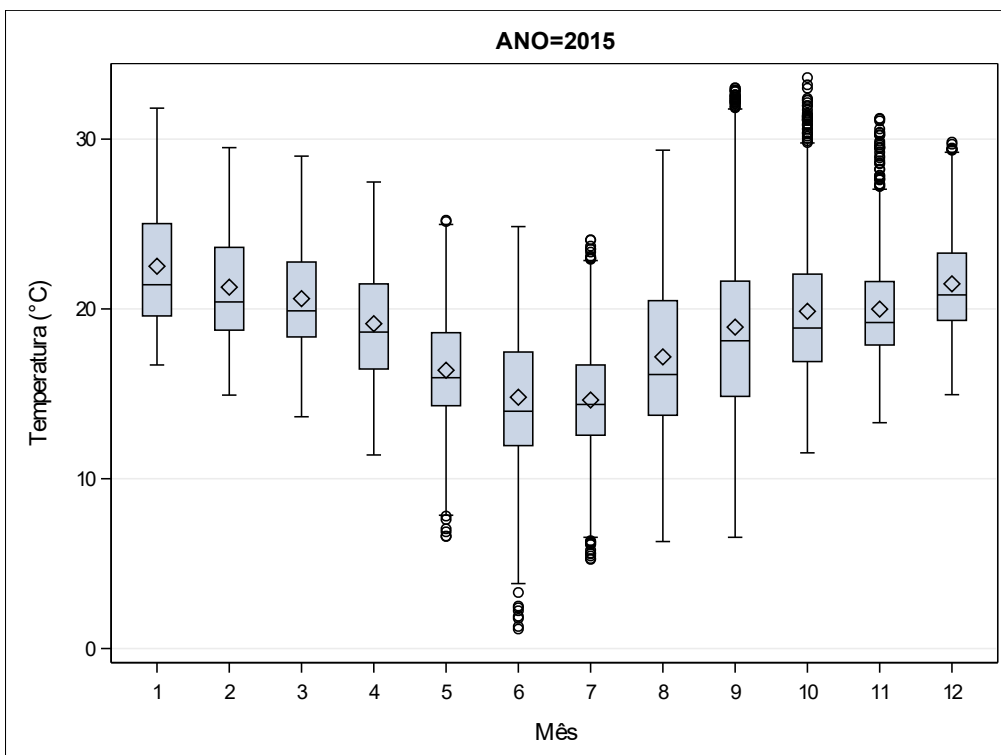


Figura 59 - Variação das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias no ano de 2015. Ponta Grossa, PR.

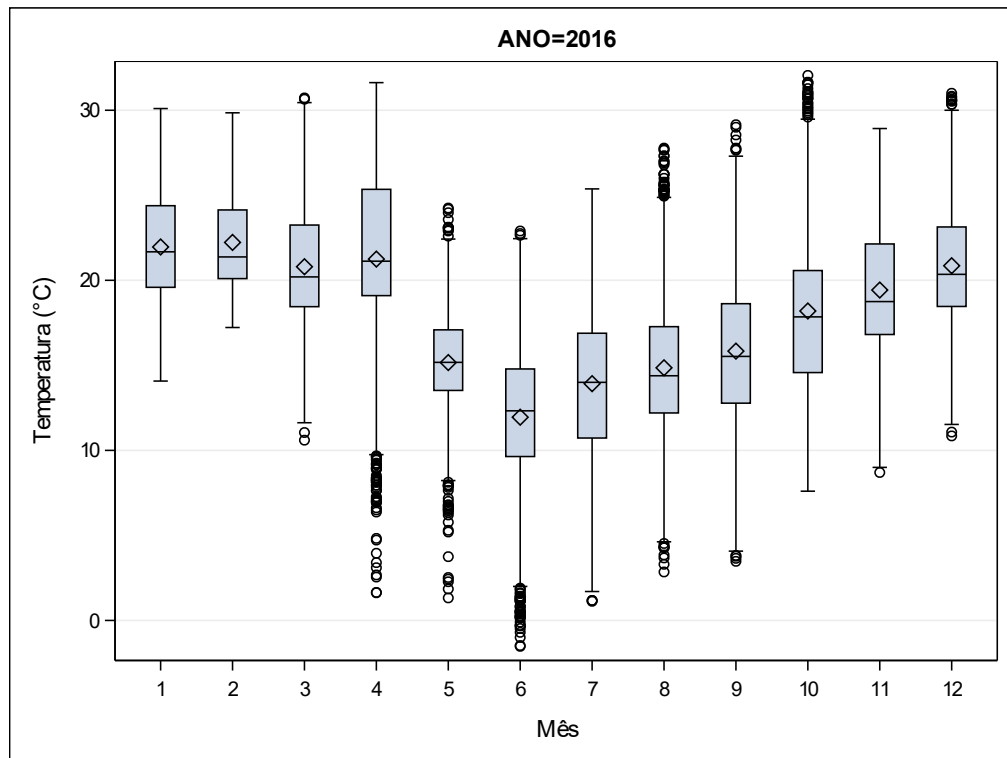


Figura 60 - Variação das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias no ano de 2016. Ponta Grossa, PR.

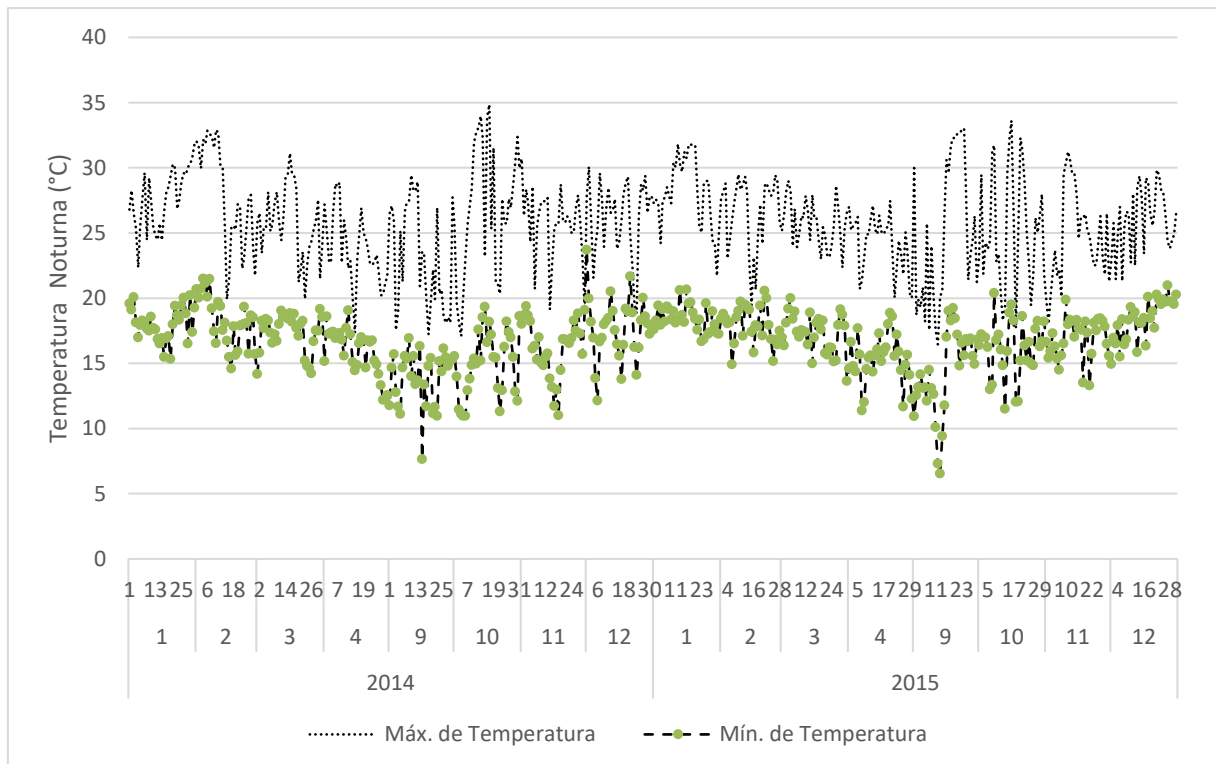


Figura 61 - Temperaturas máximas e mínimas noturnas do ar entre 18h00 e 6h00 para a safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

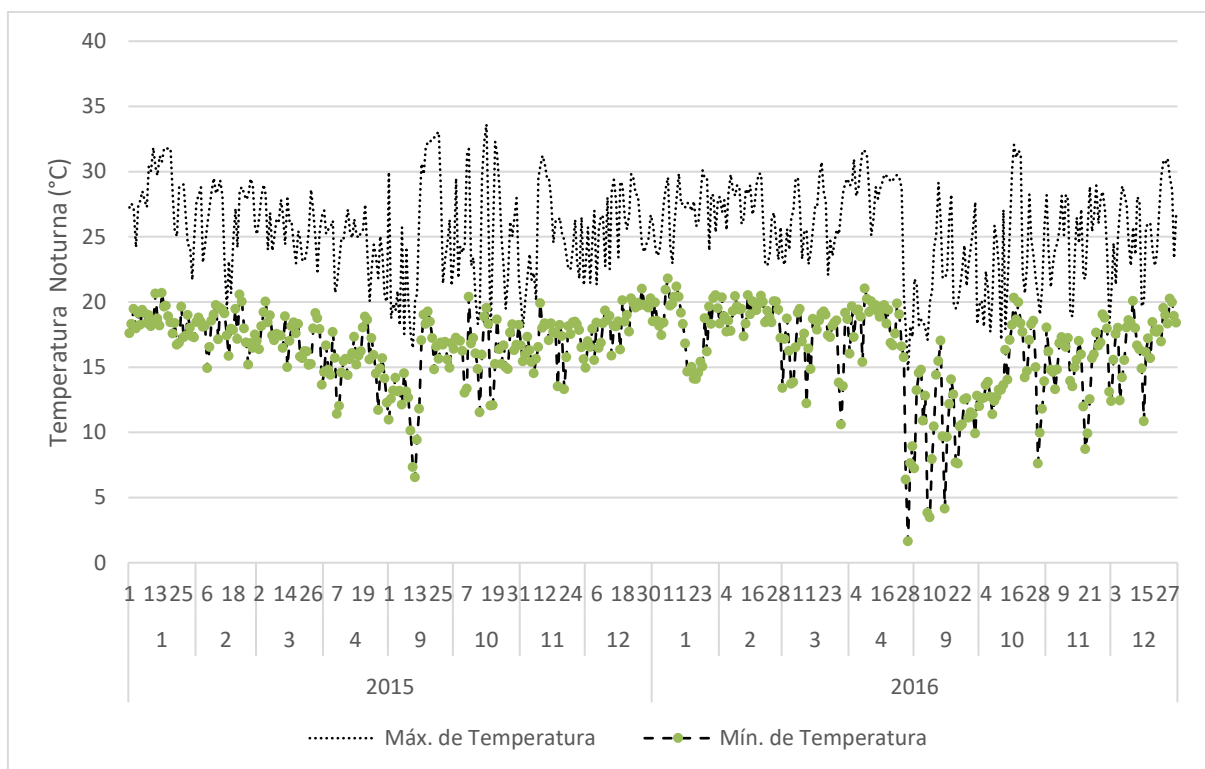


Figura 62 - Temperaturas máximas e mínimas noturnas do ar entre 18h00 e 6h00 para a safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

O crescimento das plantas durante o período de cultivo reflete a disponibilidade de água, nutrientes e de energia para tanto. Não tendo sido identificado a ocorrência de déficit hídrico durante as safras 2014/2015 e 2015/2016 para o cultivo nas três diferentes épocas de implantação do experimento de campo, nem tampouco variações significativas de altura entre plantas, procurou-se explicar as variações observadas no crescimento e desenvolvimento das plantas em função do regime vigente dos demais elementos meteorológicos locais. Da mesma forma, não se detectou efeito de época de semeadura, cobertura do solo e população de plantas sobre o número de folhas das plantas de milho na localidade estudada (Figura 63).

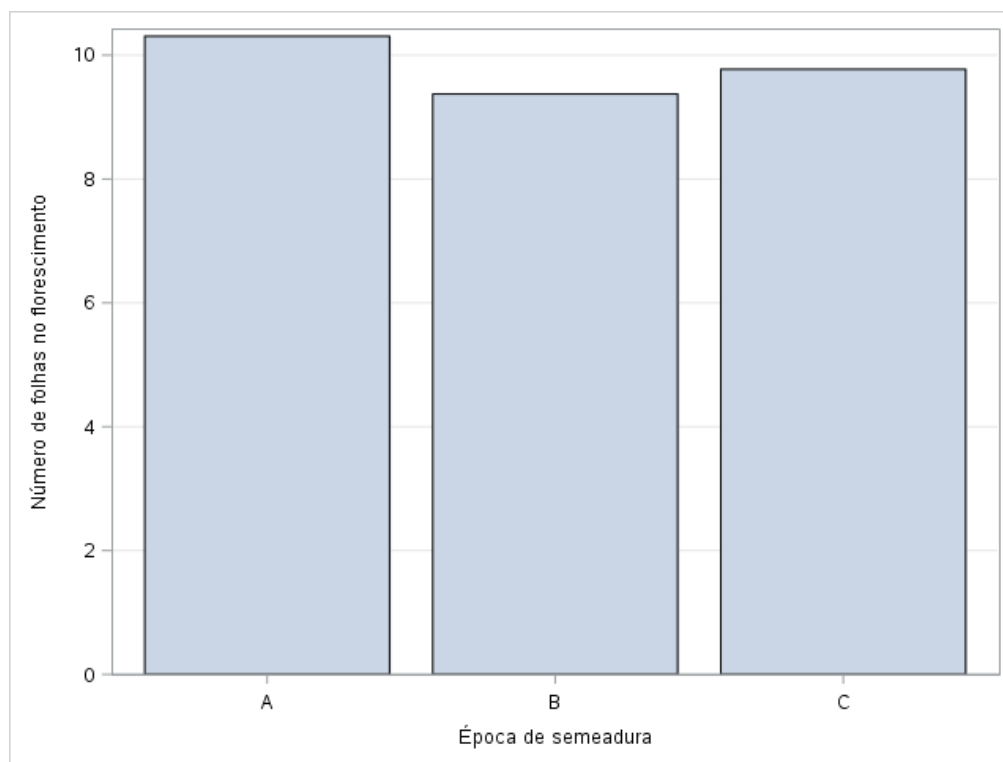


Figura 63 - Número médio de folhas das plantas de milho no florescimento para as épocas de semeadura (A – 15/09, B – 30/10, C – 15/12) na safra agrícola de 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Ocorreram variações nas duas safras quanto ao número de dias entre a semeadura e o florescimento, sendo este determinado quando mais de 75% das plantas apresentavam emissão efetiva de pendão. Não se observou efeito de coberturas de solo e populações de plantas sobre a data de florescimento do milho em nenhuma das duas safras (2014/2015 e 2015/2016) (Tabela 38).

Tabela 38 – Datas de semeadura, florescimento e soma térmica para as três épocas nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Safra	Época	Semeadura	Florescimento	Soma Térmica (°C dia)
2014/2015	A	15/09/2014	08/12/2014	851,65
2014/2015	B	30/10/2014	08/01/2015	815,77
2014/2015	C	15/12/2014	15/02/2015	794,36
2015/2016	A	15/09/2015	01/12/2015	834,29
2015/2016	B	30/10/2015	01/01/2016	728,59
2015/2016	C	15/12/2015	13/02/2016	776,26

O híbrido P30F53YH, utilizado nos ensaios, apresentou altura média de planta que não diferiu daquela encontrada por BARBOSA et al. (2016), MARTINS et al. (2016) e PANISON et al. (2015) (Tabela 39).

Tabela 39 – Datas de semeadura, florescimento e altura média de plantas para as três épocas nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Safra	Época	Semeadura	Florescimento	Altura de plantas média (m)
2014/2015	A	15/09/2014	08/12/2014	2,265
2014/2015	B	30/10/2014	08/01/2015	2,399
2014/2015	C	15/12/2014	15/02/2015	2,538
2015/2016	A	15/09/2015	01/12/2015	1,984
2015/2016	B	30/10/2015	01/01/2016	2,056
2015/2016	C	15/12/2015	13/02/2016	2,123
Média				2,228

A partir da modelagem dos dados coletados a campo, utilizando-se o número de dias após a semeadura como variável independente e a altura de plantas como variável dependente, foram obtidos resultados que se encontram nas Tabelas 40 e 41 para as três épocas de implantação para as safras 2014/2015 e 2015/2016. Os valores de Y_{a1} , Y_{a2} , Y_{a3} e Y_{a0} , são os coeficientes do polinômio ajustado pelo método de mínimos quadrados, obtido a partir da função senoidal original do modelo, e os valores Y'_{a2} , Y'_{a1} e Y'_{a0} são os coeficientes da primeira derivada da função obtida a partir do polinômio ajustado pelo método anterior da função senoidal. Os valores de x' e x'' são as raízes da função derivada, onde somente o valor de x'' tem significado prático, indicando o ponto de inflexão da curva expresso em dias após a semeadura.

Os valores de α (fator de forma) e f (fator de ajuste) foram obtidos por regressão utilizando-se o método de mínimos quadrados, sendo a função obtida representada pela equação (14) e $b = (\pi t/t_{m\acute{a}x})$.

$$y = y_{m\acute{a}x} \left\{ \sin^2 \left(\frac{b}{2} \right) \right\}^{\alpha} \cdot f \quad \text{Eq. (14)}$$

Tabela 40 – Coeficientes α e f para o modelo proposto de estimativa de crescimento de plantas de milho para as três épocas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Época	Cobertura	População	α	f	r^2	Ymáx	F(das)	EMQ	Y a3	Y a2	Y a1	Y a0	r^2	Y' a2	Y' a1	Y' a0	x'	x''
A	PD	40000	0.87649	0.97549	0.99508	2.35500	84.00000	0.06258	0.00000	0.00000	0.00151	-0.25258	0.99712	0.00000	0.00000	0.00151	2.21666	56.88844
A	PD	60000	1.32213	0.97819	0.99942	2.25167	84.00000	0.03276	-0.00004	0.00342	-0.04252	0.15835	0.99767	-0.00011	0.00683	-0.04252	6.96963	58.09581
A	PD	80000	1.29055	0.97837	0.99925	2.25333	84.00000	0.03618	-0.00003	0.00320	-0.03507	0.10039	0.99763	-0.00010	0.00641	-0.03507	6.04657	57.84586
A	PD	100000	1.12433	0.95639	0.99412	2.34750	84.00000	0.08088	-0.00003	0.00215	0.00115	-0.15995	0.99752	-0.00008	0.00430	0.00115	-0.26677	56.32814
A	PD	120000	1.06961	0.96772	0.99067	2.27250	84.00000	0.09490	-0.00002	0.00177	0.01157	-0.22075	0.99755	-0.00007	0.00355	0.01157	-3.08150	55.74253
A	SN	40000	1.04169	0.87066	0.98321	2.21250	84.00000	0.12396	-0.00002	0.00141	0.01451	-0.21812	0.99758	-0.00006	0.00282	0.01451	-4.71127	55.42496
A	SN	60000	1.26005	0.92839	0.99836	2.24167	84.00000	0.06250	-0.00003	0.00283	-0.02643	0.04421	0.99759	-0.00009	0.00566	-0.02643	5.08451	57.59370
A	SN	80000	1.35150	0.96548	0.99955	2.24500	84.00000	0.03636	-0.00004	0.00356	-0.04883	0.21118	0.99772	-0.00011	0.00712	-0.04883	7.76780	58.31857
A	SN	100000	1.05744	0.87852	0.98586	2.15083	84.00000	0.11305	-0.00002	0.00146	0.01184	-0.20058	0.99756	-0.00006	0.00292	0.01184	-3.77407	55.60575
A	SN	120000	1.32581	0.94897	0.99930	2.33500	84.00000	0.04963	-0.00004	0.00346	-0.04366	0.16628	0.99768	-0.00011	0.00692	-0.04366	7.07271	58.12423
A	PO	40000	1.07685	0.90218	0.98931	2.25000	84.00000	0.10343	-0.00002	0.00168	0.00945	-0.19653	0.99754	-0.00006	0.00335	0.00945	-2.68163	55.82276
A	PO	60000	1.29440	0.97848	0.99923	2.33583	84.00000	0.03750	-0.00003	0.00335	-0.03729	0.11128	0.99764	-0.00010	0.00670	-0.03729	6.16289	57.87692
A	PO	80000	1.10345	0.93159	0.99040	2.27083	84.00000	0.09504	-0.00002	0.00190	0.00501	-0.17550	0.99752	-0.00007	0.00381	0.00501	-1.28644	56.11026
A	PO	100000	1.22111	0.97196	0.99659	2.17750	84.00000	0.05860	-0.00003	0.00263	-0.01846	-0.01695	0.99755	-0.00009	0.00525	-0.01846	3.74323	57.25554
A	PO	120000	1.33216	0.97255	0.99953	2.28167	84.00000	0.03376	-0.00004	0.00351	-0.04527	0.17864	0.99769	-0.00011	0.00702	-0.04527	7.24835	58.17288
B	PD	40000	1.32384	0.97743	0.99838	2.29500	70.00000	0.06016	-0.00006	0.00491	-0.04779	0.10702	0.99892	-0.00018	0.00983	-0.04779	5.40467	48.50324
B	PD	60000	1.11409	1.01863	0.98626	2.40333	70.00000	0.13529	-0.00005	0.00306	0.01331	-0.30069	0.99876	-0.00014	0.00612	0.01331	-2.07988	46.84876
B	PD	80000	1.40377	0.95733	0.99891	2.35917	70.00000	0.05520	-0.00007	0.00583	-0.07468	0.29907	0.99906	-0.00021	0.01166	-0.07468	7.37031	49.02083
B	PD	100000	1.27027	0.98038	0.99682	2.30667	70.00000	0.07407	-0.00006	0.00438	-0.03134	-0.00778	0.99884	-0.00017	0.00876	-0.03134	3.86310	48.12426
B	PD	120000	1.31564	0.92345	0.99507	2.43333	70.00000	0.09259	-0.00006	0.00483	-0.04526	0.08894	0.99890	-0.00018	0.00967	-0.04526	5.18164	48.44700
B	SN	40000	1.26209	0.92417	0.99540	2.30583	70.00000	0.08638	-0.00005	0.00405	-0.02718	-0.02305	0.99883	-0.00016	0.00810	-0.02718	3.60945	48.06402
B	SN	60000	1.47286	0.97996	0.99907	2.58000	70.00000	0.04454	-0.00008	0.00740	-0.11066	0.53824	0.99919	-0.00025	0.01480	-0.11066	8.80933	49.42671
B	SN	80000	1.33163	0.94412	0.99688	2.38083	70.00000	0.07517	-0.00006	0.00501	-0.05039	0.12484	0.99893	-0.00018	0.01002	-0.05039	5.61267	48.55612
B	SN	100000	1.29311	0.93990	0.99695	2.43167	70.00000	0.07923	-0.00006	0.00467	-0.03883	0.04065	0.99887	-0.00018	0.00935	-0.03883	4.54521	48.28919
B	SN	120000	1.17042	0.91574	0.99027	2.53500	70.00000	0.11653	-0.00005	0.00345	-0.00248	-0.19784	0.99877	-0.00014	0.00691	-0.00248	0.36179	47.34043
B	PO	40000	1.25099	0.94462	0.99491	2.39250	70.00000	0.08751	-0.00005	0.00418	-0.02548	-0.04666	0.99882	-0.00016	0.00836	-0.02548	3.25646	47.98112
B	PO	60000	1.36897	0.95027	0.99817	2.28833	70.00000	0.06236	-0.00006	0.00524	-0.06057	0.20521	0.99899	-0.00019	0.01048	-0.06057	6.55866	48.80218
B	PO	80000	1.23737	0.91408	0.99363	2.48167	70.00000	0.10296	-0.00005	0.00405	-0.02150	-0.07352	0.99881	-0.00016	0.00810	-0.02150	2.80933	47.87768
B	PO	100000	1.04401	1.02932	0.97991	2.41500	70.00000	0.15842	-0.00004	0.00241	0.03162	-0.39824	0.99880	-0.00012	0.00482	0.03162	-5.74771	46.18154
B	PO	120000	1.18704	0.96076	0.99098	2.38750	70.00000	0.10203	-0.00005	0.00358	-0.00709	-0.16724	0.99877	-0.00015	0.00716	-0.00709	1.01138	47.47843
C	PD	40000	1.30815	0.91328	0.99368	2.53583	62.00000	0.10410	-0.00008	0.00570	-0.02995	-0.13294	0.99746	-0.00025	0.01139	-0.02995	2.80175	42.62483
C	PD	60000	1.39227	0.98491	0.99766	2.49917	62.00000	0.06884	-0.00010	0.00732	-0.06558	0.07464	0.99736	-0.00030	0.01464	-0.06558	4.99868	43.12868
C	PD	80000	1.46043	0.94340	0.99880	2.53667	62.00000	0.06650	-0.00011	0.00815	-0.09217	0.26436	0.99732	-0.00033	0.01630	-0.09217	6.49726	43.50063
C	PD	100000	1.55374	0.96863	0.99899	2.62083	62.00000	0.04929	-0.00013	0.01020	-0.14143	0.58852	0.99734	-0.00039	0.02040	-0.14143	8.23014	43.96304
C	PD	120000	1.51403	0.95216	0.99910	2.57583	62.00000	0.05850	-0.00012	0.00921	-0.11839	0.43813	0.99732	-0.00036	0.01842	-0.11839	7.53254	43.77247
C	SN	40000	1.39532	0.95006	0.99759	2.52583	62.00000	0.07385	-0.00010	0.00718	-0.06517	0.08099	0.99735	-0.00030	0.01436	-0.06517	5.07078	43.14602
C	SN	60000	1.40822	0.94027	0.99804	2.57417	62.00000	0.07553	-0.00010	0.00744	-0.07107	0.11711	0.99735	-0.00031	0.01488	-0.07107	5.36965	43.21849
C	SN	80000	1.56727	0.96725	0.99882	2.50000	62.00000	0.04820	-0.00013	0.00993	-0.14094	0.60559	0.99734	-0.00038	0.01987	-0.14094	8.45562	44.02597
C	SN	100000	1.39615	0.92816	0.99730	2.54417	62.00000	0.08353	-0.00010	0.00708	-0.06446	0.08188	0.99735	-0.00029	0.01416	-0.06446	5.09007	43.15067
C	SN	120000	1.58154	0.96595	0.99864	2.57600	62.00000	0.05102	-0.00013	0.01046	-0.15183	0.67266	0.99735	-0.00040	0.02092	-0.15183	8.68715	44.09128
C	PO	40000	1.34214	0.91916	0.99537	2.47167	62.00000	0.09332	-0.00009	0.00605	-0.04166	-0.05346	0.99741	-0.00026	0.01211	-0.04166	3.74157	42.83470
C	PO	60000	1.36852	0.97967	0.99763	2.45917	62.00000	0.07009	-0.00010	0.00681	-0.05459	0.01024	0.99738	-0.00029	0.01362	-0.05459	4.42116	42.99167
C	PO	80000	1.51779	0.95334	0.99910	2.52000	62.00000	0.05646	-0.00012	0.00910	-0.11787	0.44190	0.99732	-0.00035	0.01820	-0.11787	7.60095	43.79089
C	PO	100000	1.24499	0.91807	0.99115	2.52083	62.00000	0.11051	-0.00007	0.00484	-0.00791	-0.26459	0.99758	-0.00022	0.00968	-0.00791	0.83378	42.21045
C	PO	120000	1.56034	0.96214	0.99886	2.60917	62.00000	0.05306	-0.00013	0.01020	-0.14300	0.60470	0.99734	-0.00039	0.02040	-0.14300	8.34093	43.99387

Tabela 41 – Coeficientes α e f para o modelo proposto de estimativa de crescimento de plantas de milho para as três épocas na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Época	Cobertura	População	α	f	r^2	Ymáx	F(dds)	EMQ	Y a3	Y a2	Y a1	Y a0	r^2	Y' a2	Y' a1	Y' a0	x'	x''
A	PD	40000	1.32504	0.98138	0.99915	1.92783	77.00000	0.03710	-0.00004	0.00340	-0.03620	0.09263	0.99755	-0.00012	0.00681	-0.03620	5.91028	53.26291
A	PD	60000	1.20746	0.98403	0.99584	1.94042	77.00000	0.06419	-0.00003	0.00261	-0.01049	-0.09048	0.99753	-0.00010	0.00521	-0.01049	2.09255	52.33185
A	PD	80000	1.36387	0.96440	0.99943	2.01058	77.00000	0.03754	-0.00004	0.00377	-0.04643	0.16493	0.99758	-0.00012	0.00755	-0.04643	6.94861	53.53905
A	PD	100000	1.37148	0.98140	0.99932	2.03292	77.00000	0.03380	-0.00004	0.00394	-0.04969	0.18427	0.99758	-0.00013	0.00788	-0.04969	7.14139	53.59151
A	PD	120000	1.41994	0.98452	0.99917	2.03592	77.00000	0.03091	-0.00005	0.00434	-0.06237	0.28158	0.99762	-0.00014	0.00868	-0.06237	8.29446	53.91335
A	SN	40000	1.20885	0.95195	0.99553	1.97267	77.00000	0.06551	-0.00003	0.00257	-0.01061	-0.08708	0.99753	-0.00009	0.00515	-0.01061	2.14474	52.34376
A	SN	60000	1.31327	0.95877	0.99895	2.00600	77.00000	0.04474	-0.00004	0.00337	-0.03405	0.07388	0.99754	-0.00011	0.00675	-0.03405	5.57628	53.17630
A	SN	80000	1.27391	0.98206	0.99810	1.98067	77.00000	0.04934	-0.00004	0.00313	-0.02533	0.00884	0.99753	-0.00011	0.00625	-0.02533	4.38749	52.87640
A	SN	100000	1.26890	0.93594	0.99793	2.13792	77.00000	0.06230	-0.00004	0.00318	-0.02489	0.00079	0.99753	-0.00011	0.00636	-0.02489	4.22791	52.83710
A	SN	120000	1.34465	0.97355	0.99959	2.10536	77.00000	0.03605	-0.00004	0.00384	-0.04417	0.13721	0.99756	-0.00013	0.00768	-0.04417	6.44633	53.40414
A	PO	40000	1.08735	0.98156	0.98924	1.73771	77.00000	0.08197	-0.00002	0.00163	0.01140	-0.20890	0.99766	-0.00007	0.00326	0.01140	-3.27595	51.20976
A	PO	60000	1.35902	0.97980	0.99956	1.87767	77.00000	0.03010	-0.00004	0.00355	-0.04294	0.14799	0.99757	-0.00012	0.00709	-0.04294	6.82395	53.50533
A	PO	80000	1.33341	0.96980	0.99903	1.95478	77.00000	0.03973	-0.00004	0.00347	-0.03822	0.10725	0.99755	-0.00012	0.00694	-0.03822	6.14217	53.32366
A	PO	100000	1.42323	0.97510	0.99914	1.97400	77.00000	0.03319	-0.00004	0.00419	-0.06072	0.27687	0.99763	-0.00013	0.00838	-0.06072	8.36824	53.93443
A	PO	120000	1.29231	0.94675	0.99859	2.06817	77.00000	0.05286	-0.00004	0.00328	-0.02975	0.03936	0.99753	-0.00011	0.00656	-0.02975	4.95754	53.01861
B	PD	40000	1.34983	0.96019	0.99679	1.95708	63.00000	0.06004	-0.00007	0.00492	-0.03600	-0.02719	0.99746	-0.00021	0.00983	-0.03600	3.99625	43.56778
B	PD	60000	1.42186	0.92878	0.99708	2.07117	63.00000	0.06848	-0.00008	0.00587	-0.05968	0.12404	0.99744	-0.00024	0.01173	-0.05968	5.75279	43.98799
B	PD	80000	1.47103	0.95305	0.99880	2.13025	63.00000	0.05157	-0.00009	0.00681	-0.08025	0.25036	0.99745	-0.00027	0.01361	-0.08025	6.80168	44.25450
B	PD	100000	1.42113	0.93612	0.99829	2.10542	63.00000	0.06148	-0.00008	0.00600	-0.06090	0.12543	0.99744	-0.00024	0.01200	-0.06090	5.73635	43.98391
B	PD	120000	1.43287	0.96476	0.99894	2.14358	63.00000	0.04971	-0.00009	0.00644	-0.06804	0.15992	0.99744	-0.00026	0.01289	-0.06804	5.99751	44.04908
B	SN	40000	1.34922	0.92458	0.99632	2.01683	63.00000	0.07143	-0.00007	0.00487	-0.03554	-0.02815	0.99746	-0.00020	0.00974	-0.03554	3.98011	43.56406
B	SN	60000	1.50867	0.95393	0.99912	2.06250	63.00000	0.04597	-0.00009	0.00706	-0.09098	0.33616	0.99747	-0.00027	0.01412	-0.09098	7.53453	44.44819
B	SN	80000	1.44203	0.94123	0.99870	2.08300	63.00000	0.05637	-0.00008	0.00622	-0.06759	0.17283	0.99744	-0.00025	0.01244	-0.06759	6.19642	44.09922
B	SN	100000	1.42889	0.97741	0.99882	2.12167	63.00000	0.04846	-0.00009	0.00641	-0.06682	0.15068	0.99744	-0.00026	0.01282	-0.06682	5.90965	44.02708
B	SN	120000	1.34092	0.92315	0.99600	2.25650	63.00000	0.08170	-0.00008	0.00534	-0.03696	-0.04916	0.99747	-0.00023	0.01068	-0.03696	3.75816	43.51317
B	PO	40000	1.16707	0.87841	0.97830	1.93667	63.00000	0.11540	-0.00005	0.00273	0.01213	-0.29004	0.99776	-0.00014	0.00545	0.01213	-2.11338	42.31721
B	PO	60000	1.30388	0.90072	0.99018	1.99783	63.00000	0.09473	-0.00006	0.00423	-0.02159	-0.10793	0.99751	-0.00018	0.00846	-0.02159	2.71274	43.27961
B	PO	80000	1.08517	0.97202	0.96697	1.96525	63.00000	0.12160	-0.00004	0.00229	0.03207	-0.41440	0.99800	-0.00013	0.00458	0.03207	-5.99828	41.65656
B	PO	100000	1.29951	0.90431	0.99196	1.99403	63.00000	0.08897	-0.00006	0.00419	-0.02044	-0.11558	0.99751	-0.00018	0.00838	-0.02044	2.58334	43.25138
B	PO	120000	1.37792	0.91851	0.99566	2.00117	63.00000	0.07491	-0.00007	0.00512	-0.04355	0.02803	0.99745	-0.00021	0.01023	-0.04355	4.71537	43.73604
C	PD	40000	1.37027	0.93073	0.99621	2.07575	60.00000	0.07230	-0.00009	0.00607	-0.05189	0.05870	0.99772	-0.00026	0.01213	-0.05189	4.76552	41.69279
C	PD	60000	1.28262	0.91720	0.99198	2.10850	60.00000	0.09031	-0.00008	0.00495	-0.02311	-0.11946	0.99787	-0.00023	0.00990	-0.02311	2.47402	41.17182
C	PD	80000	1.29699	0.98943	0.99429	2.16075	60.00000	0.08166	-0.00009	0.00567	-0.03058	-0.10197	0.99785	-0.00026	0.01135	-0.03058	2.88355	41.26123
C	PD	100000	1.26938	1.00126	0.99267	2.18667	60.00000	0.09175	-0.00008	0.00542	-0.02150	-0.16281	0.99790	-0.00025	0.01084	-0.02150	2.08355	41.08798
C	PD	120000	1.31929	1.01241	0.98644	2.01517	60.00000	0.09473	-0.00008	0.00571	-0.03678	-0.05109	0.99780	-0.00025	0.01142	-0.03678	3.49121	41.39678
C	SN	40000	1.24646	0.92775	0.98991	2.09308	60.00000	0.09298	-0.00007	0.00453	-0.01205	-0.18503	0.99795	-0.00021	0.00905	-0.01205	1.37610	40.93948
C	SN	60000	1.25313	0.99399	0.99188	2.06125	60.00000	0.08757	-0.00008	0.00486	-0.01485	-0.18298	0.99794	-0.00023	0.00972	-0.01485	1.58637	40.98317
C	SN	80000	1.50534	0.97221	0.99869	2.11058	60.00000	0.04591	-0.00011	0.00838	-0.10704	0.40896	0.99757	-0.00034	0.01676	-0.10704	7.51731	42.39240
C	SN	100000	1.33324	1.00884	0.99190	2.17333	60.00000	0.08894	-0.00009	0.00634	-0.04473	-0.02274	0.99778	-0.00028	0.01268	-0.04473	3.85509	41.47965
C	SN	120000	1.33717	0.96823	0.99539	2.21633	60.00000	0.07520	-0.00009	0.00626	-0.04523	-0.01322	0.99777	-0.00028	0.01252	-0.04523	3.95570	41.50279
C	PO	40000	1.37002	0.99726	0.99507	2.11133	60.00000	0.07265	-0.00009	0.00661	-0.05646	0.06338	0.99772	-0.00028	0.01322	-0.05646	4.75970	41.69140
C	PO	60000	1.54256	0.96910	0.99901	2.05867	60.00000	0.04051	-0.00011	0.00869	-0.11882	0.50052	0.99754	-0.00034	0.01737	-0.11882	8.14854	42.56585
C	PO	80000	1.48166	0.97689	0.99835	2.01358	60.00000	0.04685	-0.00010	0.00770	-0.09354	0.32960	0.99759	-0.00031	0.01540	-0.09354	7.09026	42.27795
C	PO	100000	1.11079	0.87998	0.97151	2.22550	60.00000	0.13830	-0.00006	0.00299	0.02530	-0.38200	0.99832	-0.00017	0.00598	0.02530	-3.82642	39.96539
C	PO	120000	1.29098	0.97836	0.99356	2.23358	60.00000	0.08499	-0.00009	0.00571	-0.02910	-0.11721	0.99786	-0.00026	0.01143	-0.02910	2.71392	41.22401

Aproximando-se as relações entre os valores obtidos pela curva de crescimento das plantas a uma função linear do tipo “ $y = a + bx$ ”, sendo sua altura a dado momento após a semeadura e a emergência a variável dependente (y) e os elementos meteorológicos locais as variáveis independentes (x), respectivamente, para as safras 2014/2015 e 2015/2016, consideradas as suas variações entre as distintas épocas de semeadura, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 42 e 43.

Tabela 42 – Coeficientes da função linear do tipo $y = a + bx$ associados ao estudo de regressão entre altura de plantas de milho e a soma térmica (ΣST), a radiação solar global acumulada (ΣQg), a precipitação acumulada (ΣP) e o saldo de radiação acumulado (ΣNR) na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

VARIÁVEL	ÉPOCA																
	COBERTURA POPULAÇÃO	PD	PD	PD	PD	PD	SN	SN	SN	SN	SN	PO	PO	PO	PO	PO	PO
b	ΣST	A	0.0030	0.0031	0.0031	0.0031	0.0030	0.0026	0.0029	0.0030	0.0026	0.0031	0.0028	0.0032	0.0029	0.0029	0.0031
		B	0.0035	0.0037	0.0036	0.0035	0.0035	0.0033	0.0040	0.0035	0.0036	0.0036	0.0035	0.0034	0.0035	0.0038	0.0035
		C	0.0036	0.0038	0.0037	0.0040	0.0038	0.0037	0.0038	0.0038	0.0037	0.0039	0.0035	0.0037	0.0038	0.0036	0.0039
	ΣQg	A	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0011	0.0013	0.0013	0.0011	0.0013	0.0012	0.0014	0.0013	0.0013	0.0013
		B	0.0017	0.0018	0.0017	0.0017	0.0017	0.0016	0.0020	0.0017	0.0017	0.0018	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0017
		C	0.0019	0.0021	0.0020	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0021	0.0020	0.0021	0.0019	0.0020	0.0020	0.0019	0.0021
	ΣP	A	0.0077	0.0080	0.0079	0.0079	0.0077	0.0067	0.0075	0.0079	0.0066	0.0080	0.0071	0.0082	0.0075	0.0076	0.0080
		B	0.0047	0.0050	0.0048	0.0047	0.0047	0.0045	0.0054	0.0047	0.0048	0.0048	0.0047	0.0046	0.0047	0.0050	0.0047
		C	0.0060	0.0064	0.0063	0.0067	0.0064	0.0063	0.0063	0.0063	0.0062	0.0065	0.0059	0.0063	0.0063	0.0060	0.0066
	ΣNR	A	0.0026	0.0027	0.0027	0.0027	0.0026	0.0022	0.0025	0.0026	0.0022	0.0027	0.0024	0.0028	0.0025	0.0025	0.0027
		B	0.0037	0.0040	0.0038	0.0037	0.0037	0.0035	0.0042	0.0037	0.0038	0.0038	0.0037	0.0036	0.0037	0.0040	0.0037
		C	0.0039	0.0041	0.0041	0.0043	0.0042	0.0040	0.0041	0.0041	0.0040	0.0042	0.0038	0.0041	0.0041	0.0038	0.0043
a	ΣST	A	0.0244	-0.2393	-0.2223	-0.1482	-0.1137	-0.0845	-0.2011	-0.2471	-0.0913	-0.2423	-0.1089	-0.2364	-0.1284	-0.1872	-0.2452
		B	-0.4265	-0.3453	-0.4633	-0.4049	-0.4236	-0.3778	-0.5481	-0.4308	-0.4203	-0.3618	-0.3952	-0.4323	-0.3897	-0.3000	-0.3669
		C	-0.4148	-0.4799	-0.4940	-0.5596	-0.5266	-0.4692	-0.4787	-0.5376	-0.4620	-0.5581	-0.4220	-0.4594	-0.5182	-0.3837	-0.5557
	ΣQg	A	0.0102	-0.2581	-0.2437	-0.1652	-0.1297	-0.0983	-0.2182	-0.2658	-0.1049	-0.2612	-0.1238	-0.2556	-0.1442	-0.2043	-0.2642
		B	-0.5933	-0.5318	-0.6294	-0.5743	-0.5909	-0.5375	-0.7321	-0.5978	-0.5909	-0.5376	-0.5648	-0.5930	-0.5603	-0.4905	-0.5404
		C	-0.4075	-0.4730	-0.4880	-0.5541	-0.5209	-0.4625	-0.4720	-0.5325	-0.4554	-0.5529	-0.4152	-0.4524	-0.5126	-0.3757	-0.5503
	ΣP	A	-0.5316	-0.8083	-0.7874	-0.7155	-0.6651	-0.5655	-0.7354	-0.8086	-0.5643	-0.8149	-0.6185	-0.8252	-0.6614	-0.7284	-0.8190
		B	0.0230	0.1419	-0.0106	0.0480	0.0267	0.0489	-0.0418	0.0197	0.0376	0.1017	0.0573	0.0035	0.0642	0.1920	0.0913
		C	-0.5174	-0.5832	-0.5901	-0.6557	-0.6218	-0.5696	-0.5791	-0.6283	-0.5608	-0.6505	-0.5205	-0.5620	-0.6114	-0.4905	-0.6503
	ΣNR	A	0.1070	-0.1575	-0.1478	-0.0653	-0.0328	-0.0138	-0.1239	-0.1666	-0.0219	-0.1600	-0.0342	-0.1515	-0.0504	-0.1088	-0.1628
		B	-0.7273	-0.6737	-0.7652	-0.7085	-0.7249	-0.6639	-0.8850	-0.7321	-0.7269	-0.6735	-0.6986	-0.7234	-0.6943	-0.6325	-0.6750
		C	-0.3574	-0.4195	-0.4359	-0.4987	-0.4674	-0.4103	-0.4194	-0.4797	-0.4041	-0.4986	-0.3659	-0.4001	-0.4602	-0.3258	-0.4955
r ²	ΣST	A	0.9788	0.9874	0.9879	0.9876	0.9867	0.9860	0.9880	0.9870	0.9864	0.9874	0.9868	0.9877	0.9873	0.9881	0.9873
		B	0.9791	0.9788	0.9780	0.9795	0.9792	0.9795	0.9767	0.9790	0.9794	0.9794	0.9796	0.9786	0.9796	0.9775	0.9795
		C	0.9872	0.9846	0.9821	0.9782	0.9799	0.9845	0.9840	0.9776	0.9845	0.9770	0.9862	0.9854	0.9798	0.9887	0.9779
	ΣQg	A	0.9758	0.9907	0.9906	0.9882	0.9865	0.9855	0.9905	0.9906	0.9861	0.9907	0.9868	0.9906	0.9877	0.9901	0.9907
		B	0.9694	0.9786	0.9651	0.9720	0.9698	0.9724	0.9611	0.9690	0.9709	0.9765	0.9730	0.9670	0.9736	0.9808	0.9758
		C	0.9929	0.9915	0.9898	0.9869	0.9882	0.9914	0.9911	0.9865	0.9914	0.9859	0.9924	0.9920	0.9881	0.9936	0.9867
	ΣP	A	0.8849	0.8897	0.8896	0.8892	0.8887	0.8883	0.8897	0.8896	0.8885	0.8897	0.8887	0.8897	0.8890	0.8897	0.8897
		B	0.9638	0.9493	0.9677	0.9608	0.9634	0.9603	0.9704	0.9643	0.9621	0.9539	0.9596	0.9661	0.9587	0.9428	0.9552
		C	0.8900	0.8813	0.8743	0.8650	0.8689	0.8810	0.8796	0.8636	0.8809	0.8622	0.8864	0.8837	0.8685	0.8966	0.8643
	ΣNR	A	0.9799	0.9938	0.9940	0.9920	0.9905	0.9894	0.9938	0.9936	0.9900	0.9938	0.9907	0.9939	0.9915	0.9936	0.9938
		B	0.9742	0.9821	0.9703	0.9765	0.9745	0.9769	0.9666	0.9738	0.9756	0.9803	0.9773	0.9720	0.9779	0.9837	0.9798
		C	0.9938	0.9925	0.9910	0.9882	0.9895	0.9924	0.9922	0.9878	0.9924	0.9873	0.9933	0.9929	0.9894	0.9942	0.9880

Tabela 43 – Coeficientes da função linear do tipo $y = a + bx$ associados ao estudo de regressão entre altura de plantas de milho e a soma térmica (ΣST), a radiação solar global acumulada (ΣQg), a precipitação acumulada (ΣP) e o saldo de radiação acumulado (ΣNR) na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

VARIÁVEL	ÉPOCA															
	COBERTURA POPULAÇÃO	PD	PD	PD	PD	PD	SN	SN	SN	SN	SN	PO	PO	PO	PO	PO
b	ΣST	A	0.0027	0.0027	0.0028	0.0028	0.0029	0.0026	0.0027	0.0027	0.0028	0.0029	0.0024	0.0026	0.0027	0.0027
		B	0.0029	0.0029	0.0031	0.0030	0.0032	0.0028	0.0030	0.0030	0.0032	0.0032	0.0025	0.0027	0.0028	0.0027
		C	0.0031	0.0030	0.0034	0.0034	0.0032	0.0030	0.0032	0.0033	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030
	ΣQg	A	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0020	0.0016	0.0018	0.0018	0.0019
		B	0.0019	0.0020	0.0021	0.0021	0.0022	0.0019	0.0021	0.0020	0.0022	0.0022	0.0017	0.0019	0.0019	0.0019
		C	0.0017	0.0017	0.0019	0.0019	0.0018	0.0017	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017
	ΣP	A	0.0040	0.0040	0.0041	0.0043	0.0043	0.0039	0.0041	0.0041	0.0042	0.0044	0.0035	0.0039	0.0040	0.0041
		B	0.0049	0.0050	0.0053	0.0051	0.0054	0.0048	0.0051	0.0051	0.0054	0.0054	0.0044	0.0047	0.0049	0.0048
		C	0.0056	0.0056	0.0062	0.0063	0.0059	0.0056	0.0059	0.0061	0.0064	0.0062	0.0061	0.0059	0.0058	0.0055
	ΣNR	A	0.0036	0.0036	0.0037	0.0038	0.0039	0.0036	0.0037	0.0037	0.0038	0.0039	0.0032	0.0035	0.0036	0.0037
		B	0.0038	0.0039	0.0041	0.0040	0.0042	0.0038	0.0040	0.0040	0.0042	0.0042	0.0034	0.0036	0.0037	0.0036
		C	0.0034	0.0034	0.0037	0.0038	0.0035	0.0033	0.0035	0.0036	0.0038	0.0037	0.0037	0.0035	0.0035	0.0033
a	ΣST	A	-0.4144	-0.3716	-0.4298	-0.4539	-0.4725	-0.3661	-0.4169	-0.4064	-0.4161	-0.4564	-0.2806	-0.4145	-0.4182	-0.4548
		B	-0.2953	-0.3274	-0.3621	-0.3352	-0.3558	-0.2928	-0.3626	-0.3404	-0.3554	-0.3238	-0.1996	-0.2665	-0.1826	-0.2655
		C	-0.4190	-0.3858	-0.4329	-0.4305	-0.4224	-0.3720	-0.3956	-0.4919	-0.4600	-0.4519	-0.4566	-0.4893	-0.4643	-0.3088
	ΣQg	A	-0.4837	-0.4423	-0.4971	-0.5266	-0.5452	-0.4356	-0.4874	-0.4780	-0.4897	-0.5313	-0.3442	-0.4816	-0.4876	-0.5246
		B	-0.2635	-0.2946	-0.3273	-0.3016	-0.3205	-0.2613	-0.3287	-0.3069	-0.3200	-0.2886	-0.1716	-0.2363	-0.1516	-0.2352
		C	-0.2777	-0.2433	-0.2756	-0.2691	-0.2725	-0.2286	-0.2443	-0.3435	-0.2991	-0.2945	-0.3025	-0.3456	-0.3217	-0.1631
	ΣP	A	-0.0652	-0.0198	-0.0837	-0.0857	-0.1029	-0.0201	-0.0619	-0.0476	-0.0469	-0.0781	0.0318	-0.0749	-0.0683	-0.0998
		B	-0.5222	-0.5564	-0.6015	-0.5699	-0.6015	-0.5180	-0.5927	-0.5729	-0.6020	-0.5758	-0.4119	-0.4858	-0.4239	-0.4853
		C	-0.3746	-0.3393	-0.3819	-0.3776	-0.3742	-0.3246	-0.3457	-0.4482	-0.4086	-0.4017	-0.4082	-0.4479	-0.4218	-0.2582
	ΣNR	A	-0.4297	-0.3875	-0.4428	-0.4699	-0.4885	-0.3817	-0.4326	-0.4224	-0.4325	-0.4730	-0.2950	-0.4293	-0.4336	-0.4701
		B	-0.2462	-0.2767	-0.3085	-0.2833	-0.3014	-0.2441	-0.3104	-0.2887	-0.3008	-0.2694	-0.1562	-0.2197	-0.1346	-0.2186
		C	-0.2783	-0.2438	-0.2762	-0.2697	-0.2731	-0.2291	-0.2448	-0.3445	-0.2998	-0.2952	-0.3033	-0.3466	-0.3226	-0.1634
r ²	ΣST	A	0.9797	0.9818	0.9796	0.9785	0.9772	0.9818	0.9800	0.9808	0.9809	0.9792	0.9825	0.9789	0.9795	0.9771
		B	0.9763	0.9757	0.9750	0.9757	0.9755	0.9763	0.9744	0.9754	0.9756	0.9763	0.9758	0.9765	0.9744	0.9765
		C	0.9760	0.9782	0.9779	0.9785	0.9774	0.9790	0.9788	0.9716	0.9770	0.9769	0.9760	0.9702	0.9725	0.9805
	ΣQg	A	0.9758	0.9799	0.9762	0.9739	0.9717	0.9799	0.9762	0.9777	0.9779	0.9750	0.9828	0.9744	0.9754	0.9716
		B	0.9787	0.9779	0.9772	0.9779	0.9778	0.9787	0.9765	0.9776	0.9778	0.9788	0.9786	0.9790	0.9773	0.9790
		C	0.9859	0.9849	0.9851	0.9847	0.9854	0.9842	0.9844	0.9859	0.9856	0.9856	0.9859	0.9857	0.9861	0.9801
	ΣP	A	0.9656	0.9619	0.9664	0.9666	0.9675	0.9620	0.9653	0.9642	0.9640	0.9661	0.9564	0.9664	0.9658	0.9676
		B	0.9196	0.9135	0.9092	0.9135	0.9125	0.9197	0.9060	0.9117	0.9129	0.9204	0.9348	0.9235	0.9411	0.9239
		C	0.8975	0.8964	0.8966	0.8962	0.8969	0.8958	0.8959	0.8984	0.8971	0.8972	0.8975	0.8985	0.8983	0.8923
	ΣNR	A	0.9795	0.9824	0.9800	0.9781	0.9764	0.9824	0.9799	0.9809	0.9811	0.9789	0.9838	0.9785	0.9793	0.9762
		B	0.9770	0.9762	0.9755	0.9762	0.9761	0.9770	0.9748	0.9759	0.9761	0.9770	0.9768	0.9772	0.9756	0.9772
		C	0.9840	0.9828	0.9830	0.9825	0.9834	0.9820	0.9821	0.9844	0.9836	0.9836	0.9840	0.9842	0.9844	0.9775

Pelos resultados demonstrados nas Tabelas 42 e 43, observa-se uma alta relação linear ($R^2 - p < 0,005$) entre as condicionantes meteorológicas locais e o crescimento da planta em altura, com o seu consequente acúmulo de matéria seca.

A evapotranspiração, processo físico-biológico que reflete a resposta do sistema solo-planta às condições atmosféricas reinantes, constitui um dos grandes condicionadores da expressão da produtividade potencial de culturas, principalmente do milho por contar com metabolismo C4 (LIU et al., 2016). De acordo com STEDUTO et al. (2012, p. 7), o milho é altamente afetado pelas alterações ambientais que desencadeiam estresse hídrico, expresso pelo coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico - K_y (que representa o efeito da redução da produtividade em função do déficit de evapotranspiração relativa da cultura). Para o milho o valor de K_y reportado por esses autores é de 1,25, sendo apenas menor do que aquele definido para a cultura da banana.

As variáveis do meio físico evidenciadas nas Tabelas 42 e 43 governam as taxas de evapotranspiração potencial e real, bem como o procedimento de cálculo do balanço hídrico sequencial.

A cultura do milho apresenta um índice de recobrimento após o fechamento das entrelinhas (entre os estádios V6 e V8 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1986, 2003) de aproximadamente 96% (PAREDES et al., 2014). Isso quer dizer que a partir desse momento de maior densidade de cobertura vegetal uma pequena parcela da radiação solar incidente deixa de ser absorvida pelas plantas em função da área de solo desprovida de cobertura e do albedo do milho, o qual é função do estágio de desenvolvimento da planta (JACOBS; PUL, 1990), da população de plantas na área (ANDA; LOKE, 2005) e do índice de área foliar (BSAIBES et al., 2009; GARDIOL; SERIO; DELLA MAGGIORA, 2003).

O crescimento em altura e o desenvolvimento da cultura do milho associado de maneira linear com o aumento da quantidade de radiação incidente (representada por ΣQ_g) e do saldo de radiação (ΣNR) estão diretamente relacionados com densidade de cobertura vegetal, albedo, estágio fenológico da cultura e população de plantas. Quanto maior a área coberta pela planta, maior a parcela interceptada de radiação por esta e, desta forma, maior será potencialmente o seu aproveitamento na fotossíntese. GUISCHEM et al. (2001) propuseram um modelo de quarta ordem de regressão múltipla polinomial que descreve o crescimento da planta de milho em altura em função tanto da soma térmica (ΣST) quanto da radiação solar disponível (ΣQ_g), havendo um aumento da altura da planta com o aumento dos dois fatores em questão.

ZHOU et al. (2016) encontraram uma relação funcional entre a quantidade de energia radiante acumulada e a soma térmica e a massa de espiga do milho, havendo variações na resposta biológica do milho em decorrência da época de semeadura e da ocorrência de temperaturas mais elevadas durante a noite. Os referidos autores obtiveram para o híbrido em questão densidade de fluxo de radiação acumulada de $1005,4 \text{ MJ m}^{-2}$ e constante térmica de $950 \text{ }^\circ\text{C dia}$, respectivamente, tendo sido tais valores os mais adequados para a cultura do milho durante o subperíodo de enchimento de grãos com vistas à obtenção da máxima massa de espiga.

A partir do ponto de inflexão da derivada da curva de crescimento, obtiveram-se os valores do momento (dias após a semeadura – x'' das tabelas 40 e 41) em que o modelo de regressão deixa de ser crescente e passa a ser decrescente (Tabelas 44 e 45).

Tabela 44 – Ponto de inflexão (dias após a semeadura - DAS), soma térmica equivalente, radiação solar global acumulada, precipitação acumulada e saldo de radiação acumulado para as diferentes épocas, sistemas de cobertura e população de plantas na safra 2014/2015. Ponta Grossa, PR.

Época	Cobertura	População	Ponto de Inflexão (PI)	Semeadura	Data PI	ΣST	ΣQg	ΣP	ΣNR
A	PD	40000	57	15/09/2014	10/11/2014	562.48	1299.92	249.94	569.50
A	PD	60000	58	15/09/2014	12/11/2014	584.89	1358.27	250.19	595.33
A	PD	80000	58	15/09/2014	11/11/2014	572.97	1333.20	249.94	584.37
A	PD	100000	56	15/09/2014	10/11/2014	562.48	1299.92	249.94	569.50
A	PD	120000	56	15/09/2014	09/11/2014	551.75	1261.59	249.94	552.81
A	SN	40000	55	15/09/2014	09/11/2014	551.75	1261.59	249.94	552.81
A	SN	60000	58	15/09/2014	11/11/2014	572.97	1333.20	249.94	584.37
A	SN	80000	58	15/09/2014	12/11/2014	584.89	1358.27	250.19	595.33
A	SN	100000	56	15/09/2014	09/11/2014	551.75	1261.59	249.94	552.81
A	SN	120000	58	15/09/2014	12/11/2014	584.89	1358.27	250.19	595.33
A	PO	40000	56	15/09/2014	09/11/2014	551.75	1261.59	249.94	552.81
A	PO	60000	58	15/09/2014	11/11/2014	572.97	1333.20	249.94	584.37
A	PO	80000	56	15/09/2014	10/11/2014	562.48	1299.92	249.94	569.50
A	PO	100000	57	15/09/2014	11/11/2014	572.97	1333.20	249.94	584.37
A	PO	120000	58	15/09/2014	12/11/2014	584.89	1358.27	250.19	595.33
B	PD	40000	49	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	PD	60000	47	30/10/2014	15/12/2014	534.85	1209.45	299.47	550.67
B	PD	80000	49	30/10/2014	18/12/2014	566.58	1294.14	299.47	589.10
B	PD	100000	48	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	PD	120000	48	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	SN	40000	48	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	SN	60000	49	30/10/2014	18/12/2014	566.58	1294.14	299.47	589.10
B	SN	80000	49	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	SN	100000	48	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	SN	120000	47	30/10/2014	16/12/2014	544.26	1242.52	299.47	566.34
B	PO	40000	48	30/10/2014	16/12/2014	544.26	1242.52	299.47	566.34
B	PO	60000	49	30/10/2014	17/12/2014	554.65	1275.53	299.47	581.18
B	PO	80000	48	30/10/2014	16/12/2014	544.26	1242.52	299.47	566.34
B	PO	100000	46	30/10/2014	15/12/2014	534.85	1209.45	299.47	550.67
B	PO	120000	47	30/10/2014	16/12/2014	544.26	1242.52	299.47	566.34
C	PD	40000	43	15/12/2014	26/01/2015	560.62	1051.88	335.02	512.91
C	PD	60000	43	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	PD	80000	44	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	PD	100000	44	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	PD	120000	44	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	SN	40000	43	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	SN	60000	43	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	SN	80000	44	15/12/2014	28/01/2015	584.75	1089.62	336.55	530.29
C	SN	100000	43	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	SN	120000	44	15/12/2014	28/01/2015	584.75	1089.62	336.55	530.29
C	PO	40000	43	15/12/2014	26/01/2015	560.62	1051.88	335.02	512.91
C	PO	60000	43	15/12/2014	26/01/2015	560.62	1051.88	335.02	512.91
C	PO	80000	44	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32
C	PO	100000	42	15/12/2014	26/01/2015	560.62	1051.88	335.02	512.91
C	PO	120000	44	15/12/2014	27/01/2015	572.97	1069.84	335.28	521.32

Tabela 45 – Ponto de inflexão (dias após a semeadura - DAS), soma térmica equivalente, radiação solar global acumulada, precipitação acumulada e saldo de radiação acumulado para as diferentes épocas, sistemas de cobertura e população de plantas na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

Época	Cobertura	População	Ponto de Inflexão (PI)	Semeadura	Data PI	ΣST	ΣQg	ΣP	ΣNR
A	PD	40000	53	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PD	60000	52	15/09/2015	06/11/2015	567.24	876.07	179.00	413.83
A	PD	80000	54	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PD	100000	54	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PD	120000	54	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	SN	40000	52	15/09/2015	06/11/2015	567.24	876.07	179.00	413.83
A	SN	60000	53	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	SN	80000	53	15/09/2015	06/11/2015	567.24	876.07	179.00	413.83
A	SN	100000	53	15/09/2015	06/11/2015	567.24	876.07	179.00	413.83
A	SN	120000	53	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PO	40000	51	15/09/2015	05/11/2015	558.77	862.88	165.80	406.60
A	PO	60000	54	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PO	80000	53	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PO	100000	54	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
A	PO	120000	53	15/09/2015	07/11/2015	575.60	894.87	179.40	424.14
B	PD	40000	44	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	PD	60000	44	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	PD	80000	44	30/10/2015	13/12/2015	487.09	703.20	255.00	354.15
B	PD	100000	44	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	PD	120000	44	30/10/2015	13/12/2015	487.09	703.20	255.00	354.15
B	SN	40000	44	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	SN	60000	44	30/10/2015	13/12/2015	487.09	703.20	255.00	354.15
B	SN	80000	44	30/10/2015	13/12/2015	487.09	703.20	255.00	354.15
B	SN	100000	44	30/10/2015	13/12/2015	487.09	703.20	255.00	354.15
B	SN	120000	44	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	PO	40000	42	30/10/2015	11/12/2015	463.83	665.21	249.40	337.42
B	PO	60000	43	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	PO	80000	42	30/10/2015	10/12/2015	449.89	637.02	249.40	321.99
B	PO	100000	43	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
B	PO	120000	44	30/10/2015	12/12/2015	474.61	676.20	250.60	340.23
C	PD	40000	42	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	PD	60000	41	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	PD	80000	41	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	PD	100000	41	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	PD	120000	41	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	SN	40000	41	15/12/2015	24/01/2016	517.62	878.34	331.60	443.54
C	SN	60000	41	15/12/2015	24/01/2016	517.62	878.34	331.60	443.54
C	SN	80000	42	15/12/2015	26/01/2016	545.31	928.37	331.60	468.60
C	SN	100000	41	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	SN	120000	42	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	PO	40000	42	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77
C	PO	60000	43	15/12/2015	26/01/2016	545.31	928.37	331.60	468.60
C	PO	80000	42	15/12/2015	26/01/2016	545.31	928.37	331.60	468.60
C	PO	100000	40	15/12/2015	23/01/2016	506.03	842.76	331.60	426.28
C	PO	120000	41	15/12/2015	25/01/2016	532.12	903.15	331.60	455.77

Não se observou efeito significativo da população e da cobertura do solo sobre a definição do ponto de inflexão, havendo, no entanto, efeito significativo de safra ($p<0,001$) e da época de semeadura ($p<0,001$). Em média, o ponto de inflexão ocorreu aos 49,5 DAS na safra 2014/2015 e aos 46 DAS na safra 2015/2016. O ponto de inflexão se verificou aos 55 DAS para a época A (semeadura em 15 de setembro), aos 45,8 DAS para a época B (semeadura em 30 de outubro) e aos 42,4 DAS para a época C (semeadura em 15 de dezembro).

De forma análoga, avaliando-se o efeito dos fatores estudados sobre o regime vigente dos elementos meteorológicos locais, pode-se notar a existência de diferenças significativas no regime vigente de tais elementos entre as safras de milho e as épocas de semeadura na localidade estudada (Tabela 46).

Tabela 46 – Valores de soma térmica (ΣST), a radiação solar global acumulada (ΣQg), a precipitação acumulada (ΣP) e o saldo de radiação acumulado (ΣNR) para as safras 2014/2015 e 2015/2016 nas três épocas de semeadura, de acordo com os valores de ponto de inflexão. Ponta Grossa, PR.

Safra	Época	ΣST	ΣQg	ΣP	ΣNR
2014/2015	A (15 de set)	568,39 a	1314,13 a	250,01 c	575,90 a
2014/2015	B (30 de out)	550,83 b	1260,40 b	299,47 b	574,21 a
2014/2015	C (15 de dez)	571,25 c	1067,69 c	335,38 a	520,27 b
Média		563,49 A	1214,07 A	294,95 A	556,79 A
2015/2016	A (15 de set)	572,24 a	887,72 b	178,39 c	420,22 b
2015/2016	B (30 de out)	476,40 c	681,86 c	251,91 b	343,46 c
2015/2016	C (15 de dez)	531,08 b	900,86 a	331,60 a	454,74 a
Média		526,57 B	823,48 B	253,97 B	406,14 B

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, dentro da safra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, entre as safras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O comportamento de crescimento e desenvolvimento de uma dada espécie é o reflexo da ação conjunta das condições de solo e de clima. Por vezes, a ação do chamado “ano agrícola” que contempla as variações climáticas ocorridas no período de cultivo pode surtir efeitos variados sobre as características das plantas, mesmo que mantidas as demais condições de implantação, condução e manejo. Isto pode ser observado no trabalho desenvolvido por PIAO et al.(2016) que, cultivando milho em diferentes sistemas e espaçamentos, obtiveram em dois anos agrícolas distintos comportamentos igualmente distintos para as características

fisiológicas diretamente relacionadas à produtividade (interceptação da radiação, eficiência no uso da radiação global e eficiência no uso da radiação fotossinteticamente ativa). Entretanto, em muitos casos, as características fisiológicas são mantidas ocorrendo diferenças na forma de alocação dos fotoassimilados, bem como na sua partição (BOLAÑOS; EDMEADES, 1993b).

Diferenças similares entre o comportamento do crescimento e desenvolvimento da cultura do milho foram encontrados por BONELLI et al. (2016), que observaram variações de soma térmica entre diferentes épocas de semeadura obtidas a partir da semeadura até o florescimento e deste até a maturação fisiológica.

As características de uma cultura podem variar de acordo com a época de implantação, sistema de manejo e população de plantas. Na avaliação do índice de área foliar (IAF) na safra 2015/2016, no período de florescimento para as três distintas épocas de semeadura, sob os três sistemas de cobertura não se observou efeito de época nem tampouco de cobertura sobre o IAF e as demais características foliares. A população de plantas promoveu incremento no IAF pois, mantidas as dimensões das folhas e sua área foliar, assim como o número de folhas, ocorre um incremento natural do IAF com o aumento da população (Tabela 47).

Tabela 47 – Correlação entre a população de plantas e as variáveis morfológicas da folha e o índice de área foliar para as três diferentes épocas de implantação na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

	AF	IAF	LF	CF
População (época A)	0.03155	0.98134	-0.18724	0.27874
p valor	0.8370	<.0001	0.2181	0.0637
População (época B)	0.31288	0.98372	-0.04917	0.40886
p valor	0.0364	<.0001	0.7484	0.0053
População (época C)	0.07155	0.97358	-0.05064	0.03767
p valor	0.6404	<.0001	0.7411	0.8060

AF – área foliar; IAF – índice de área foliar; LF – largura da folha; CF – comprimento da folha.

Os valores apresentados na Tabela 47 concordam com aqueles obtidos por MADDONNI; OTEGUI; CIRILO (2001), que relatam aumento no IAF até uma população máxima, além de estabelecerem uma associação entre a soma térmica e o aumento do IAF durante o período de crescimento e desenvolvimento vegetativo da cultura até o início do florescimento e reprodução. Sendo função do crescimento da planta, em associação à população de plantas, o IAF também está sujeito a alterações, como visto nos dados demonstrados na Tabela 47, quando da implantação da cultura do milho em diferentes épocas (MADDONNI; OTEGUI, 1996). As médias das medidas de comprimento de folha (CF - cm),

largura de folha (LF – cm), área foliar (AF – cm²) e índice de área foliar (IAF) encontram-se na Tabela 48.

Tabela 48 – Médias de comprimento de folha (CF - cm), largura de folha (LF – cm), área foliar (AF – cm²) e índice de área foliar (IAF) para as três épocas de implantação do experimento na safra 2015/2016. Ponta Grossa, PR.

População	N	Variável	Época A			Época B			Época C		
			Média	S	Sp	Média	S	Sp	Média	S	Sp
40000	9	AF	0,4913	0,0556	0,0185	0,4440	0,0428	0,0143	0,4575	0,0421	0,0140
		IAF	1,9652	0,2226	0,0742	1,7760	0,1710	0,0570	1,8302	0,1685	0,0562
		LF	10,7167	0,6434	0,2145	10,4944	0,3879	0,1293	10,4722	0,3882	0,1294
		CF	86,5114	5,9250	1,9750	82,6111	5,0957	1,6986	84,1306	7,3131	2,4377
60000	9	AF	0,4950	0,0402	0,0134	0,4523	0,0126	0,0042	0,4479	0,0293	0,0098
		IAF	2,9700	0,2412	0,0804	2,7138	0,0754	0,0251	2,6875	0,1757	0,0586
		LF	10,7722	0,7099	0,2366	10,3167	0,2550	0,0850	10,3944	0,3678	0,1226
		CF	86,8639	2,9297	0,9766	85,2061	3,3412	1,1137	83,4333	5,3969	1,7990
80000	9	AF	0,4987	0,0469	0,0156	0,4750	0,0210	0,0070	0,4578	0,0319	0,0106
		IAF	3,9897	0,3749	0,1250	3,7999	0,1678	0,0559	3,6621	0,2554	0,0851
		LF	10,6583	0,3986	0,1329	10,5361	0,2568	0,0856	10,4167	0,3754	0,1251
		CF	88,3500	5,7265	1,9088	87,6058	3,9636	1,3212	84,6917	4,5920	1,5307
100000	9	AF	0,4925	0,0231	0,0077	0,4717	0,0359	0,0120	0,4636	0,0413	0,0138
		IAF	4,9247	0,2314	0,0771	4,7170	0,3587	0,1196	4,6359	0,4134	0,1378
		LF	10,5167	0,4529	0,1510	10,5463	0,3312	0,1104	10,3667	0,4288	0,1429
		CF	89,1167	3,0264	1,0088	86,7750	4,1795	1,3932	84,6278	4,8535	1,6178
120000	9	AF	0,4969	0,0293	0,0098	0,4692	0,0325	0,0108	0,4587	0,0403	0,0134
		IAF	5,9623	0,3515	0,1172	5,6301	0,3901	0,1300	5,5046	0,4838	0,1613
		LF	10,4963	0,4552	0,1517	10,3250	0,3257	0,1086	10,4194	0,4027	0,1342
		CF	89,7787	4,1480	1,3827	88,2306	4,1627	1,3876	84,2694	6,5941	2,1980

S – desvio padrão amostral; Sp -erro padrão da média

5.5 – Cobertura do solo

Por ocasião da avaliação das coberturas de solo antes da semeadura do milho nas duas safras estudadas, os valores obtidos (Mg ha^{-1}) de matéria seca produzida pela cobertura de aveia preta e na área de pousio (palhada da cultura anterior e plantas voluntárias) está representado nas Tabelas 49 a 52.

Tabela 49 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de cobertura de aveia preta na safra 2014/2015 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro) nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR.

	A I	A II	A III	B I	B II	B III	C I	C II	C III
1	2,81	3,10	2,74	3,04	3,00	3,04	2,97	2,87	2,71
2	2,71	2,94	2,74	2,71	2,67	2,74	2,81	3,20	2,77
3	3,17	3,00	2,54	3,17	2,57	3,14	2,48	3,14	3,14
4	3,17	2,51	2,57	2,48	2,51	2,57	2,87	3,04	2,94
5	3,04	2,71	2,90	2,77	2,90	2,84	3,04	2,67	3,20
Média	2,98	2,85	2,70	2,83	2,73	2,86	2,83	2,98	2,95
S	0,21	0,24	0,15	0,27	0,21	0,23	0,22	0,21	0,22
Sp	0,09	0,11	0,07	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
CV%	7,12%	8,45%	5,43%	9,70%	7,80%	7,87%	7,70%	7,15%	7,36%

S = desvio padrão; Sp = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação.

Tabela 50 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de cobertura de aveia preta na safra 2015/2016 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro), nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR.

	A I	A II	A III	B I	B II	B III	C I	C II	C III
1	3,10	2,71	2,57	2,57	2,38	2,48	2,57	2,41	2,90
2	2,90	2,90	2,94	2,48	2,94	2,31	2,38	3,20	2,87
3	3,10	2,54	3,00	3,10	2,57	2,87	2,90	3,00	2,54
4	2,94	2,41	2,48	2,57	2,94	3,00	2,51	2,38	2,67
5	2,41	2,38	2,71	2,87	2,41	2,44	2,97	2,64	2,97
Média	2,89	2,59	2,74	2,72	2,65	2,62	2,67	2,73	2,79
S	0,28	0,22	0,23	0,26	0,28	0,30	0,26	0,36	0,18
Sp	0,13	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,12	0,16	0,08
CV%	9,84%	8,49%	8,30%	9,58%	10,41%	11,43%	9,68%	13,39%	6,40%

S = desvio padrão; Sp = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação.

Tabela 51 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de pousio na safra 2014/2015 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro) nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR.

	A I	A II	A III	B I	B II	B III	C I	C II	C III
1	0,46	0,44	0,49	0,46	0,41	0,42	0,49	0,47	0,44
2	0,49	0,40	0,39	0,48	0,49	0,43	0,42	0,44	0,41
3	0,45	0,51	0,43	0,47	0,45	0,49	0,44	0,43	0,44
4	0,49	0,46	0,44	0,46	0,40	0,50	0,40	0,49	0,44
5	0,47	0,50	0,46	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,49
Média	0,47	0,46	0,44	0,46	0,44	0,46	0,44	0,46	0,44
S	0,02	0,05	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
Sp	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
CV%	3,97%	9,94%	8,12%	3,85%	7,94%	7,82%	8,06%	6,43%	6,94%

S = desvio padrão; Sp = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação.

Tabela 52 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) nas áreas de pousio na safra 2015/2016 nas épocas de semeadura: A (15 de setembro), B (30 de outubro) e C (15 de dezembro) nos blocos I, II e III dentro de cada época. Ponta Grossa, PR.

	A I	A II	A III	B I	B II	B III	C I	C II	C III
1	0,64	0,49	0,49	0,50	0,63	0,56	0,54	0,53	0,67
2	0,62	0,64	0,63	0,64	0,51	0,60	0,49	0,58	0,57
3	0,62	0,66	0,50	0,64	0,49	0,56	0,52	0,55	0,57
4	0,62	0,67	0,60	0,62	0,66	0,53	0,53	0,66	0,57
5	0,50	0,62	0,62	0,61	0,58	0,59	0,64	0,62	0,67
Média	0,60	0,61	0,57	0,60	0,57	0,57	0,54	0,59	0,61
S	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,03	0,06	0,05	0,05
Sp	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
CV%	9,80%	11,74%	11,85%	9,76%	12,70%	4,90%	10,25%	9,30%	8,71%

S = desvio padrão; Sp = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação.

No momento da dessecação as plantas voluntárias da área de pousio mostraram-se extremamente dispersas, não havendo caracterização definida nas amostragens feitas, tendo sido observada a presença das seguintes espécies invasoras: *Bidens pilosa* (picão preto); *Conyza bonariensis* (buva); *Sidasp* (guanxuma); *Raphanussativus* (nabo); *Euphorbia heterophylla* (leiteiro).

Os valores observados de matéria seca da palha de aveia preta concordam com aqueles obtidos por MANTAI et al. (2015) que, avaliando a produção de matéria seca de aveia sob diferentes doses e momentos de aplicação de nitrogênio, obtiveram médias similares ao redor de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabelas 49 e 50). Por outro lado, LÁZARO et al.(2013) obtiveram médias

superiores a $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca de aveia preta e valores superiores a $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca produzida em área de pousio em ensaio de campo conduzido na região de Assis Chateaubriand, PR.

Os valores de produção de matéria seca de aveia preta e nas áreas em pousio apresentaram diferença significativa entre as duas coberturas nas duas safras, sendo que a cobertura aveia preta mostrou-se superior ($2,85$ e $2,71 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, para as safras 2014/2015 e 2015/2016) quando comparado ao pousio ($0,45$ e $0,58 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, para as safras 2014/2015 e 2015/2016).

Embora tenham encontrado diferenças na produção de matéria seca devido ao uso de diferentes coberturas, LÁZARO et al. (2013) não encontraram diferenças nas características morfológicas (altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo), nem tampouco nas características ligadas aos componentes de rendimento (diâmetro de espiga, comprimento de espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga) da cultura do milho decorrente do uso de cobertura, corroborando com os resultados de nosso estudo obtidos nas safras 2014/2015 e 2015/2016.

As coberturas de inverno, quando corretamente manejadas, promovem o aumento da infiltração de água no solo e o seu armazenamento, pela redução nas taxas de evapotranspiração (UNGER; VIGIL, 1998) e incremento nos teores de carbono orgânico no solo (DUVAL et al., 2016). Acredita-se que pelas condições gerais de condução do ensaio e tendo o balanço hídrico positivo durante todo o período de cultivo, o efeito protetor potencial das coberturas de inverno acabou sendo mascarado em função do suprimento adequado de água para a cultura do milho, independentemente da presença ou não de cobertura no solo.

6 – Conclusões

- A época de semeadura afetou os componentes de rendimento e a produtividade da cultura do milho, com maiores diferenças entre cultivos iniciados no início do período recomendado (15 de setembro) em relação aos demais, sendo o período inicial de cultivo o que conferiu maiores produtividades.
- A densidade populacional afetou os componentes de rendimento do milho, não de maneira proporcional a produtividade, tendo sido mantida a produtividade sob populações de plantas acima da recomendada pela compensação existente entre a redução da massa da espiga associada ao aumento do número de plantas por hectare.
- Houve efeito interativo nas diferentes épocas de semeadura de população de plantas e cobertura do solo para as semeaduras realizadas em 30 de outubro e 15 de dezembro na safra 2014/2015 e para a semeadura realizada em 15 de setembro na safra 2015/2016 sobre a produtividade do milho.
- Não se detectou efeito de cobertura do solo sobre os componentes de rendimento da cultura do milho nas safras agrícolas estudadas.
- Nas safras agrícolas consideradas o balanço hídrico sequencial mostrou-se positivo, indicando não haver períodos de escassez de água para a cultura do milho nestas épocas de cultivo, havendo no entanto variações dos demais elementos meteorológicos (disponibilidade de energia e temperatura).
- Não se verificou variação estatisticamente significativa dos atributos físicos do solo nas diferentes áreas cultivadas com milho sobre os componentes de rendimento da cultura e sobre a dinâmica da água no solo, havendo diferenças entre a distribuição de poros e o índice S em profundidade no perfil.
- Não houve efeito dos atributos físicos do solo nas diferentes épocas de semeadura, safras e cobertura do solo sobre a disponibilidade de água no solo.
- A interação entre fatores bióticos (componentes de rendimento) e abióticos (clima e solo) resultaram em alterações na produtividade da cultura do milho sob as condições de condução dos ensaios.

7– Referências Bibliográficas

- ABRECHT, D. G.; CARBERRY, P. S. The influence of water deficit prior to tassel initiation on maize growth, development and yield. **Field Crops Research**, v. 31, n. 1–2, p. 55–69, jan. 1993.
- ADAMS, S. R.; PEARSON, S.; HADLEY, P. Improving quantitative flowering models through a better understanding of the phases of photoperiod sensitivity. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 357, p. 655–62, abr. 2001.
- AHMAD, M.; TIWARI, G. Solar radiation models—a review. **International Journal of Energy Research**, v. 35, n. March 2010, p. 271–290, 2011.
- ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H. H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. **Soil and Tillage Research**, v. 115–116, p. 1–15, out. 2011.
- ALFONSI, R. R.; PEDRO JR, M. J.; ARRUDA, F. . **Métodos agrometeorológicos para o controle da irradiação**. Boletim Té ed. Campinas: IAC/PRONI, 1990.
- ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 11, p. 1201–1213, nov. 2008.
- ALIZADEH, O.; NEJAD, K.; SAJJADIAN, S. Study of different tillage methods and planting patterns on corn yield. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, n. 7, p. 1764–1768, 2011.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. Rome, Italy: [s.n.].
- AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 189–197, 2001.
- ANDA, A.; LOKE, Z. Crop / Stress Physiology Radiation Balance Components of Maize Hybrids Grown at Various Plant Densities. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 191, p. 202–209, 2005.
- ANDRADE, F. et al. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. **Crop Science**, v. 42, p. 1173–1179, 2002.
- ANDRADE, F.; UHART, S.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, v. 32, n. 1984, p. 17–25, 1993.
- ANDRADE, R. D. S.; STONE, L. F. Uso do índice S na determinação da condutividade hidráulica não-saturada de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 376–381, 2009.
- ANOTHAI, J. et al. Evaluation of two evapotranspiration approaches simulated with the CSM–CERES–Maize model under different irrigation strategies and the impact on maize growth, development and soil moisture content for semi-arid conditions. **Agricultural and**

Forest Meteorology, v. 176, p. 64–76, jul. 2013.

ANTONPOULOS, V. Modelling of soil water dynamics in an irrigated corn field using direct and pedotransfer functions for hydraulic properties. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 14, p. 325–342, 2000.

ARAUJO, M. et al. Sistemas de manejo e relações hídricas do solo na produtividade da cultura da soja, em Ponta Grossa-Paraná. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 5, p. 403–412, 2009.

ARAUJO, M. A.; SOUZA, J. L. M. DE; TSUKAHARA, R. Y. Modelos agro-meteorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 23–31, 2 mar. 2011.

ARORA, V. K. et al. Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 4, p. 563–568, fev. 2011.

BADU-APRAKU, B.; HUNTER, R. B.; TOLLENAAR, M. Effect of Temperature during Grain Filling on Whole Plant and Grain Yield in Maize (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 63, n. May 1982, p. 357–363, 1983.

BALDÉ, A. B. et al. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. **Field Crops Research**, v. 124, n. 2, p. 240–251, nov. 2011.

BARBER, S.; MACKAY, A. Effects of soil temperature and water on maize root growth. **Plant and soil**, v. 111, p. 267–269, 1988.

BARBOSA, A. P. et al. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em resposta a aplicação de regulador de crescimento**. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo. **Anais...**2016

BAVEC, F.; BAVEC, M. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100–400). **European Journal of Agronomy**, v. 16, n. 2, p. 151–159, mar. 2002.

BENNIE, A. T. P.; BOTHA, F. J. P. Effect of deep tillage and controlled traffic on root growth, water-use efficiency and yield of irrigated maize and wheat. **Soil and Tillage Research**, v. 7, n. 1–2, p. 85–95, maio 1986.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243–249, fev. 2006.

BERG, M. VAN DEN; DRIESSEN, P.; RABBINGE, R. Water uptake in crop growth models for land use systems analysis: II. Comparison of three simple approaches. **Ecological Modelling**, v. 148, p. 233–250, 2002.

BESHARAT, F.; DEHGHAN, A. A.; FAGHIH, A. R. Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 798–821, maio 2013.

BIRCH, C. J. et al. Phyllochron responds to acclimation to temperature and irradiance in maize. **Field Crops Research**, v. 59, n. 3, p. 187–200, dez. 1998.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G.; MARTINEZ, L. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. III. Responses in drought-adaptive physiological and morphological traits. **Field Crops Research**, v. 31, p. 269–286, 1993.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. **Field Crops Research**, v. 31, n. 3–4, p. 253–268, jan. 1993a.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass, and radiation utilization. **Field Crops Research**, v. 31, n. 3–4, p. 233–252, jan. 1993b.

BONATO, O.; SCHULTHESS, F.; BAUMGÄRTNER, J. Simulation model for maize crop growth based on acquisition and allocation processes for carbohydrate and nitrogen. **Ecological Modelling**, v. 124, p. 11–28, 1999.

BONELLI, L. E. et al. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. **Field Crops Research**, v. 198, p. 215–225, nov. 2016.

BONHOMME, R. Bases and limits to using “degree.day” units. **European Journal of Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 1–10, jul. 2000.

BORRÁS, L. et al. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. **Field Crops Research**, v. 102, n. 1, p. 73–85, abr. 2007.

BORRÁS, L.; MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf senescence in maize hybrids: Plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, v. 82, n. 1, p. 13–26, 2003.

BOS, H. J.; TIJANI-ENIOLA, H.; STRUIK, P. C. Morphological analysis of leaf growth of maize: responses to temperature and light intensity. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 48, n. 2, p. 181–198, 2000.

BOTTA, G. F. et al. Continuous application of direct sowing: Traffic effect on subsoil compaction and maize (*Zea mays* L.) yields in Argentinean Pampas. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 111–120, nov. 2013.

BOYER, J. S.; WESTGATE, M. E. Grain yields with limited water. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2385–94, nov. 2004.

BRAIDA, J. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 605–614, 2006.

BRODRICK, R. et al. Physiological determinants of high yielding ultra-narrow row cotton: Canopy development and radiation use efficiency. **Field Crops Research**, v. 148, p. 86–94, jul. 2013.

- BROWN, D. A.; SCOTT, H. D. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. In: INFLUX (Ed.). **Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth**. Madison: Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy, 1984. p. 101–136.
- BRUCE, W. B.; EDMEADES, G. O.; BARKER, T. C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. **Journal of experimental botany**, v. 53, n. 366, p. 13–25, jan. 2002.
- BSAIBES, A. et al. Albedo and LAI estimates from FORMOSAT-2 data for crop monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 4, p. 716–729, abr. 2009.
- CAI, Q. et al. Correlation and combining ability analysis of physiological traits and some agronomic traits in maize. **Maydica**, v. 59, n. 1, p. 176–184, 2014.
- CALONEGO, J.; ROSOLEM, C. Soil water retention and s index after crop rotation and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 1927–1937, 2011.
- CAMPOS, H. et al. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. **Field Crops Research**, v. 90, n. 1, p. 19–34, nov. 2004.
- CAO, J. et al. Leaf area development in maize and soybean plants. **Biotronics**, v. 17, p. 9–15, 1988.
- CÁRCOVA, J.; MADDONNI, G.; GHERSA, C. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. **Field Crops Research**, v. 55, p. 165–174, 1998.
- CARVALHO, I. R. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 969–985, 2013.
- CÁSSARO, F. A. M. et al. Funil de Haines modificado: Curvas de retenção de solos próximos à saturação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2555–2562, 2008.
- CHALLINOR, A. J. et al. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2775–89, jan. 2009.
- CHAPUIS, R. P. Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: A review. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 71, n. 3, p. 401–434, 2012.
- CHEN, G. et al. An empirical model for changes in the leaf area of maize. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, n. 4, p. 749–757, 2014.
- CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 17–27, dez. 2011.
- CHOUDHURY, B. J. Modeling radiation- and carbon-use efficiencies of maize, sorghum, and rice. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 106, n. 4, p. 317–330, fev. 2001.
- CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield

dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, v. 133, p. 48–67, jul. 2012.

COELHO, A. M.; FRANÇA, E. G. **Nutrição e adubação do milho** *Circular Técnica Embrapa Milho e Sorgo*. Sete Lagoas - MG: [s.n.].

CONNOLLY, R. . Modelling effects of soil structure on the water balance of soil–crop systems: a review. **Soil and Tillage Research**, v. 48, n. 1–2, p. 1–19, set. 1998.

CORNELIS, W. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 638–648, 2001.

COSTA, J. DA; PINHO, J. DE; PARRY, M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 443–450, 2008.

COURAULT, D.; SEGUIN, B.; OLIOSO, A. **Review to estimate evapotranspiration from remote sensing data: some examples from the simplified relationship to the use of mesoscale atmospheric models**. ICID workshop on remote sensing of ET for large regions. **Anais...2003** Disponível em: <http://water.kimberly.uidaho.edu/water/montpellier/p6/Courault_P.pdf>. Acesso em: 6 out. 2013

COUTO, A.; RUIZ PADÍN, A.; REINOSO, B. Comparative yield and water use efficiency of two maize hybrids differing in maturity under solid set sprinkler and two different lateral spacing drip irrigation systems in León, Spain. **Agricultural Water Management**, v. 124, p. 77–84, jun. 2013.

COVSHOFF, S.; HIBBERD, J. M. Integrating C4 photosynthesis into C3 crops to increase yield potential. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 209–14, abr. 2012.

CRAIG, I. P. P. Comparison of precise water depth measurements on agricultural storages with open water evaporation estimates. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 1–2, p. 193–200, set. 2006.

CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. Climate change and the flowering time of annual crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 9, p. 2529–39, jan. 2009.

CUTTI, L. et al. Winter cover crops on weed infestation and maize yield. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 885–891, dez. 2016.

DA SILVA, H. A. et al. Maize and soybeans production in integrated system under no-tillage: With different pasture combinations and animal categories. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 43, n. 4, p. 757–765, 2012.

DAKSHANAMURTHY, V.; FREDLUND, D. A mathematical model for predicting moisture flow in an unsaturated soil under hydraulic and temperature gradients. **Water Resources Research**, v. 17, n. 3, p. 714–722, 1981.

DARDANELLI, J. et al. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. **Field Crops Research**, v. 54, p. 29–38, 1997.

DARDANELLI, J. . et al. An empirical model for root water uptake. **Field Crops Research**, v. 87, n. 1, p. 59–71, abr. 2004.

DAUGHTRY, C. S. T. et al. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 2, p. 141–152, fev. 1992.

DEXTER, A. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201–214, 2004a.

DEXTER, A. Soil physical quality: Part III. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, n. 3–4, p. 201–214, jun. 2004b.

DEXTER, A. A. R. et al. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, v. 143, n. 3–4, p. 243–253, fev. 2008.

DIDONET, A.; RODRIGUES, O. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 933–938, 2002.

DING, R. et al. Evapotranspiration measurement and estimation using modified Priestley–Taylor model in an irrigated maize field with mulching. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 168, p. 140–148, jan. 2013.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. **Yield response to water**. n. 33 ed. Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage Paper, 1979.

DOURADO-NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 191–192, mar. 2000.

DRAGIČEVIĆ, V. et al. THE INFLUENCE OF DIFFERENT TILLAGE PRACTICES ON THE SOIL MOISTURE AND NITROGEN STATUS. **Journal of Central European Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 729–738, 2012.

DUVAL, M. E. et al. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 95–105, ago. 2016.

EDREIRA, J. I. R. et al. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. **Field Crops Research**, v. 130, p. 87–98, 2012.

ESCOBAR-GUTIÉRREZ, A. J.; COMBE, L. Senescence in field-grown maize: From flowering to harvest. **Field Crops Research**, v. 134, p. 47–58, ago. 2012.

FABRIZZI, K. P. et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 57–69, mar. 2005.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 83, n. 1–2, p. 135–143, maio 2006.

FEDDES, R. A. et al. Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function. **Journal of Hydrology**, v. 31, n. 1–2, p. 13–26, set. 1976.

FENG, R. et al. Analysis of the relationship between the spectral characteristics of maize canopy and leaf area index under drought stress. **Acta Ecologica Sinica**, v. 33, n. 6, p. 301–307, 2013.

FERREIRA, G. et al. The interaction of drought stress and heat stress as determinant of dry matter yield and nutritional composition of maize (*Zea mays* L) whole-plant for silage. **Maydica**, n. 1, p. 1.6, 2016.

FLORIO, E. L. et al. Interactive effects of water-table depth, rainfall variation, and sowing date on maize production in the Western Pampas. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 75–83, 2014.

FU, F. et al. Growth Dynamics and Optimal Harvesting Stage of Two Forage Maize Varieties. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, n. 2, p. 220–227, fev. 2011.

GABRIEL, J. L. et al. Calibration of WAVE in Irrigated Maize: Fallow vs. Cover Crops. **Procedia Environmental Sciences**, v. 19, p. 785–793, jan. 2013.

GABRIEL, J. L.; MUÑOZ-CARPENA, R.; QUEMADA, M. The role of cover crops in irrigated systems: Water balance, nitrate leaching and soil mineral nitrogen accumulation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 155, n. 3, p. 50–61, jul. 2012.

GALINAT, W. C. The origin of maize. **Annual Review of Genetics**, v. 5, p. 447–78, jan. 1971.

GAO, Y. et al. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. **Field Crops Research**, v. 111, n. 1–2, p. 65–73, mar. 2009.

GAO, Y. et al. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 1, p. 199–212, dez. 2010.

GAO, Y. et al. Modeling evapotranspiration in maize/soybean strip intercropping system with the evaporation and radiation interception by neighboring species model. **Agricultural Water Management**, v. 128, p. 110–119, out. 2013.

GARCÍA Y GARCÍA, A. **Modelos para área foliar, fitomassa e extração de nutrientes na cultura de arroz**. [s.l.] Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

GARDIOL, J. M.; SERIO, L. A.; DELLA MAGGIORA, A. I. Modelling evapotranspiration of corn (*Zea mays*) under different plant densities. **Journal of Hydrology**, v. 271, n. 1–4, p. 188–196, fev. 2003.

GENUCHTEN, M. VAN. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.

GENUCHTEN, M. T. V. T. VAN et al. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p.

892–898, 1980.

GHANBARIAN-ALAVIJEH, B. et al. Estimation of the van Genuchten Soil Water Retention Properties from Soil Textural Data. **Pedosphere**, v. 20, n. 4, p. 456–465, ago. 2010.

GHARSALLAH, O.; FACCHI, A.; GANDOLFI, C. Comparison of six evapotranspiration models for a surface irrigated maize agro-ecosystem in Northern Italy. **Agricultural Water Management**, v. 130, p. 119–130, dez. 2013.

GHOLIPOOR, M. et al. Maize Hybrid Variability for Transpiration Decrease with Progressive Soil Drying. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 1, p. 23–29, 28 fev. 2013.

GIACOMINI, S. J. et al. **Consortiação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 2004.

GITIRANA, G. F. N.; FREDLUND, D. G. Soil-Water Characteristic Curve Equation with Independent Properties. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 130, n. 2, p. 209–212, fev. 2004.

GREEN, S. R.; KIRKHAM, M. B.; CLOTHIER, B. E. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 86, n. 1–2, p. 165–176, nov. 2006.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A.; MORAES, A. V. DE C. **Estimativa da Área Foliar de Cultivares de Milho**. XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo. **Anais...** Florianópolis - SC: 2002

GUISCHEM, J. M. et al. Crescimento e desenvolvimento da cultura do milho (Zea mays , L .) em semeadura tardia e sua relação com graus-dia e radiação solar global Maize plant (Zea mays , L .) development in late sowing and its relation with degree days and radiation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 251–260, 2001.

GUL, S. et al. Effect of sowing methods and NPK levels on growth and yield of rainfed maize (Zea mays L .). **Hindawi Publishing Corporation**, v. 2015, p. 1–7, 2015.

GUROVICH, L. A. LA; RAMOS, R. Spatial variability of rainfall and yield of maize in a semiarid region. **Agricultural water management**, v. 10, p. 13–29, 1985.

HACKL, H. et al. A Comparison of Plant Temperatures as Measured by Thermal Imaging and Infrared Thermometry. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 6, p. 415–429, 16 dez. 2012.

HAGAN, R. **Factors affecting soil moisture-plant growth relations**. Report of the XIV International Horticultural Congress, Scheveningen, Netherlands. **Anais...**1955Disponível em: <[http://www.agronomia.uchile.cl/centros/sap/descargas/sap/factors_affecting_soil_moisture_plant_growth_relations\(hagan.pdf](http://www.agronomia.uchile.cl/centros/sap/descargas/sap/factors_affecting_soil_moisture_plant_growth_relations(hagan.pdf)>. Acesso em: 7 dez. 2013

HATFIELD, J. L. Increased Temperatures Have Dramatic Effects on Growth and Grain Yield of Three Maize Hybrids. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 1, n. 1, p. 150006,

2016.

HERNANDEZ, F.; SOUZA, S. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 1, p. 21–30, 2003.

HESKETH, J. D. et al. The dynamics of corn canopy development: phytomer ontogeny. **Biotronics**, v. 17, n. JANUARY 1988, p. 69–78, 1988.

HU, Z. et al. Modeling evapotranspiration by combining a two-source model, a leaf stomatal model, and a light-use efficiency model. **Journal of Hydrology**, v. 501, p. 186–192, set. 2013.

HUNTER, R. B.; TOLLENAAR, M.; BREUER, C. M. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of a maize (*Zea mays*) hybrid. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 57, n. 4, p. 1127–1133, 1977.

IGBADUN, H. E. et al. Crop water productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 1–2, p. 141–150, set. 2006.

IMRAN, M. et al. Nutrient seed priming improves seedling development of maize exposed to low root zone temperatures during early growth. **European Journal of Agronomy**, v. 49, p. 141–148, ago. 2013.

IRMAK, S. et al. Modeling soybean canopy resistance from micrometeorological and plant variables for estimating evapotranspiration using one-step Penman-Monteith approach. **Journal of Hydrology**, v. 507, p. 1–18, dez. 2013.

JACOBS, A.; PUL, W. VAN. Seasonal changes in the albedo of a maize crop during two seasons. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 49, p. 351–360, 1990.

JAIN, P. A model for diffuse and global irradiation on horizontal surfaces. **Solar Energy**, v. 45, n. 5, p. 301–308, 1990.

JAIN, S.; JAIN, P. A comparison of the Angstrom-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation. **Solar Energy**, v. 40, n. 2, p. 93–98, 1988.

JAME, Y. W.; CUTFORTH, H. W.; RITCHIE, J. T. Temperature response function for leaf appearance rate in wheat and corn. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 79, n. 1, p. 1–10, jan. 1999.

JIN, Y. H.; ZHOU, D. W.; JIANG, S. C. Comparison of soil water content and corn yield in furrow and conventional ridge sown systems in a semiarid region of China. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 2, p. 326–332, fev. 2010.

JONG, R.; CAMPBELL, C.; NICHOLAICHUK, W. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. **Canadian Journal of Soil ...**, p. 291–302, 1983a.

JONG, R. DE; CAMPBELL, C. A.; NICHOLAICHUK, W. Water retention equations and

their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 63, n. 2, p. 291–302, maio 1983b.

JORDAN-MEILLE, L.; PELLERIN, S. Leaf area establishment of a maize (*Zea Mays* L.) field crop under potassium deficiency. **Plant and Soil**, v. 265, n. 1–2, p. 75–92, ago. 2004.

KAKANI, V. G. et al. Leaf photosynthesis and carbohydrates of CO₂-enriched maize and grain sorghum exposed to a short period of soil water deficit during vegetative development. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 18, p. 2169–2176, 1 dez. 2011.

KANG, S. et al. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. **Agricultural Water Management**, v. 38, n. 1, p. 69–76, out. 1998.

KANG, S. et al. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. **Agricultural Water Management**, v. 59, p. 239–254, 2003.

KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; CHERNI, H. E. Effects of corn deficit irrigation and soil properties on water use efficiency. A 25-year analysis of a Mediterranean environment using the STICS model. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 177–185, fev. 2010.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 107–118, 2002.

KHAN, H. Z.; MALIK, M. A.; SALEEM, M. F. Effect of rate and source of organic material on the production potential of spring maize (*Zea mays* L.). **Pakistan Journal of Agriculture Science**, v. 45, n. 1, p. 40–43, 2008.

KHARAZMSHAHI, H. A.; ZAHEDI, H.; ALIPOUR, A. Effects of Sowing Date on Yield and Yield Components in Sweet Maize (*Zea mays* L.) Hybrids. **Maydica**, v. 60, n. 4, p. 835–840, 2015.

KIM, S. et al. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 224–236, dez. 2007.

KOCHINSKI, E. G. et al. **Propriedades físico-hídricas e disponibilidade de água às plantas, em diferentes métodos de preparo do solo**. XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Anais...** Belém - PA: 2013

KOFFI DJAMAN et al. Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. **Transactions of the ASABE**, v. 56, n. 2, p. 373–393, 2013.

KÖHNE, J. M.; KÖHNE, S.; SIMŮNEK, J. A review of model applications for structured soils: a) Water flow and tracer transport. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 104, n. 1–4, p. 4–35, 16 fev. 2009.

KONOPKA, B.; PAGES, L.; DOUSSAN, C. Soil compaction modifies morphological characteristics of seminal maize roots. **Plant Soil Environ**, v. 2009, n. 2, p. 1–10, 2009.

KOOL, D. et al. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 184, p. 56–70, jan. 2014.

KOVAR, J. L. et al. Characterization of soil temperature, water content, and maize root distribution in two tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 24, n. 1, p. 11–27, jun. 1992.

KRAVCHENKO, A. N. et al. Long-term differences in tillage and land use affect intra-aggregate pore heterogeneity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 5, p. 1658, 2011.

KUMAR, C. Estimation of ground water recharge using soil moisture balance approach. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 2, n. 1–2, p. 53–58, 2003.

KUMUDINI, S. et al. Predicting maize phenology: Intercomparison of functions for developmental response to temperature. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 6, p. 2087–2097, 2014.

LAL, R. Influence of within- and between-row mulching on soil temperature, soil moisture, root development and yield of maize (*Zea mays* L.) in a tropical soil. **Field Crops Research**, v. 1, p. 127–139, jan. 1978.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. [s.l.] CRC Press, 2004.

LÁZARO, R. DE L. et al. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 10–17, mar. 2013.

LEAN, J. The sun's variable radiation and its relevance for earth. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 35, p. 33–67, 1997.

LEIJ, F.; GHEZZEHEI, T.; OR, D. Analytical models for soil pore-size distribution after tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1104–1114, 2002a.

LEIJ, F. J.; GHEZZEHEI, T. A.; OR, D. Modeling the dynamics of the soil pore-size distribution. **Soil and Tillage Research**, v. 64, n. 1–2, p. 61–78, fev. 2002b.

LIBARDI, P. **Dinâmica da Água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

LIEDGENS, M.; RICHNER, W. Relation between maize (*Zea mays* L.) leaf area and root density observed with minirhizotrons. **European Journal of Agronomy**, v. 15, p. 131–141, 2001.

LIPIEC, J. et al. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. **Soil and Tillage Research**, v. 97, n. 2, p. 239–246, dez. 2007.

LIU, S. et al. Modelling crop yield, soil water content and soil temperature for a soybean–maize rotation under conventional and conservation tillage systems in Northeast China. **Agricultural Water Management**, v. 123, p. 32–44, maio 2013.

LIU, W. et al. Global investigation of impacts of PET methods on simulating crop-water

relations for maize. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 221, p. 164–175, 2016.

LONG, S. P.; SPENCE, A. K. Toward Cool C4 Crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, n. 1, p. 701–722, 29 abr. 2013.

LOPES, M. S. et al. Enhancing drought tolerance in C(4) crops. **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 9, p. 3135–53, maio 2011.

MACHADO, S.; JR, E. B.; ARCHER, T. Spatial and temporal variability of corn grain yield: Site-specific relationships of biotic and abiotic factors. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 359–376, 2000.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, v. 48, n. 1, p. 81–87, 1996.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E.; CIRILO, A. G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Field Crops Research**, v. 71, n. 3, p. 183–193, 2001.

MADDONNI, G.; OTEGUI, M.; BONHOMME, R. Grain yield components in maize: II. Postsilking growth and kernel weight. **Field Crops Research**, v. 56, p. 257–264, 1998.

MAIA, C. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1959–1965, dez. 2011.

MANSFIELD, B. D.; MUMM, R. H. Survey of plant density tolerance in U.S. maize germplasm. **Crop Science**, v. 54, n. 1, p. 157–173, 2014.

MANTAI, R. D. et al. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 343–349, abr. 2015.

MARTINS, D. C. et al. Produtividade de duas cultivares de milho submetidas ao tratamento de sementes com bioestimulantes fertilizantes líquidos e *Azospirillum* sp. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 217–228, 30 ago. 2016.

MARTINS, J. D. et al. **Filocrono para diversos híbridos de milho**. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Anais...**Guarapari - ES: 2011

MATERECHERA, S.; MLOZA-BANDA, H. Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi. **Soil and Tillage Research**, v. 41, p. 13–24, 1997.

MCCUMBER, M. C.; PIELKE, R. A. Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model: 1. Soil layer. **Journal of Geophysical Research**, v. 86, n. C10, p. 9929, 1981.

MCMASTER, G. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 87, n. 4, p. 291–300, dez. 1997.

MELLEK, J. E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties

and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 69–76, set. 2010.

MIAO, Y.; MULLA, D. J.; ROBERT, P. C. Spatial Variability of Soil Properties, Corn Quality and Yield in Two Illinois, USA Fields: Implications for Precision Corn Management. **Precision Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 5–20, mar. 2006.

MILANDER, J. J. et al. Plant population influence on maize yield components in Croatia and Nebraska. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2742–2750, 2016.

MILLY, P. Climate, soil water storage, and the average annual water balance. **Water Resources Research**, v. 30, n. 7(july), p. 2143–2156, 1994.

MONTEIRO, J. E. B. A. (ORG. . **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2009.

MONZON, J. P.; SADRAS, V. O.; ANDRADE, F. H. Modelled yield and water use efficiency of maize in response to crop management and Southern Oscillation Index in a soil-climate transect in Argentina. **Field Crops Research**, v. 130, p. 8–18, mar. 2012.

MOREIRA, W. H. et al. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 53–64, 2016.

MOSER, S. B. et al. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. **Agricultural Water Management**, v. 81, n. 1–2, p. 41–58, 2006.

MOTA, F. DA. Weather-technology models for corn and soybeans in the south of Brazil. **Agricultural Meteorology**, v. 28, p. 49–64, 1983.

NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*). **Field Crops Research**, v. 28, n. 3, p. 251–256, jan. 1992a.

NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. **Field Crops Research**, v. 29, n. 1, p. 23–35, mar. 1992b.

NEVES, R.; CHAMBEL-LEITÃO, P.; LEITÃO, P. Modelação Numérica Da Circulação Da água no solo-o modelo MOHID. **Pedologia**, v. 28, p. 46–55, 2000.

NIINEMETS, U. Photosynthesis and resource distribution through plant canopies. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, n. 9, p. 1052–71, set. 2007.

NORD, E. A; LYNCH, J. P. Plant phenology: a critical controller of soil resource acquisition. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 7, p. 1927–37, jan. 2009.

NORRIS, K. H. Evaluation of Visible Radiation for Plant Growth. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 19, n. 1, p. 490–499, jun. 1968.

NOVÁK, V.; HURTALOVÁ, T.; MATEJKA, F. Predicting the effects of soil water content

and soil water potential on transpiration of maize. **Agricultural Water Management**, v. 76, n. 3, p. 211–223, ago. 2005.

OBER, E. S. et al. Influence of water deficit on maize endosperm development. **Plant physiology**, v. 97, p. 154–164, 1991.

OBI, M. E.; EBO, P. O. The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in southern Nigeria. **Bioresource Technology**, v. 51, n. 2–3, p. 117–123, jan. 1995.

OTEGUI, M.; ANDRADE, F.; SUERO, E. E. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. **Field Crops Research**, v. 40, p. 87–94, 1995.

OTEGUI, M.; BONHOMME, R. Grain yield components in maize: I. Ear growth and kernel set. **Field Crops Research**, v. 56, p. 247–256, 1998.

PAHLAVANIAN, A. L. I. M.; SILK, W. K. Effect of temperature on spatial and temporal aspects of growth in the primary maize root. **Plant Physiology**, v. 87, p. 529–532, 1988.

PANISON, F. et al. **Consequências do atraso na colheita sobre o desempenho agrônômico de híbridos de milho**. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo. **Anais...**2015

PAREDES, P. et al. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. **Agricultural Water Management**, v. 144, p. 81–97, 2014.

PARENT, B. et al. Modelling temperature-compensated physiological rates, based on the co-ordination of responses to temperature of developmental processes. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 8, p. 2057–69, maio 2010.

PARIHAR, C. M. et al. Long term effect of conservation agriculture in maize rotations on total organic carbon, physical and biological properties of a sandy loam soil in north-western Indo-Gangetic Plains. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 1–14, 2016.

PAUL, M. J.; FOYER, C. H. Sink regulation of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 360, p. 1383–400, jul. 2001.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural Water Management**, v. 129, p. 31–43, nov. 2013.

PEDROSO, D. M.; SHENG, D.; ZHAO, J. The concept of reference curves for constitutive modelling in soil mechanics. **Computers and Geotechnics**, v. 36, n. 1–2, p. 149–165, jan. 2009.

PENARIOL, F. G. et al. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 2, p. 52–60, 2003.

PEREIRA, A. Estimativa da área foliar em milharal. **Bragantia**, v. 46, n. 1, p. 147–150, 1987.

PEREIRA, A. B. et al. **Monitoramento da irrigação por meio da tensão de água do solo -**

guia prático. Ponta Grossa, PR: [s.n.].

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaira: Agropecuária, 2002.

PIAO, L. et al. Optimized tillage practices and row spacing to improve grain yield and matter transport efficiency in intensive spring maize. **Field Crops Research**, v. 198, p. 258–268, 2016.

PIRES, L. F. et al. Weed control methods effect on the hydraulic attributes of a Latosol. **Acta Scientiarum**, v. 39, n. 1, p. 119–128, 2017.

POORTER, H.; ANTEN, N. P. R.; MARCELIS, L. F. M. Physiological mechanisms in plant growth models: do we need a supra-cellular systems biology approach? **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 9, p. 1673–90, set. 2013.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba: C. L. Prevedello, 1996.

PREVEDELLO, C.; LOYOLA, J. Modelagem numérica para o processo da evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 669–675, 2005.

PRITCHARD, J. The control of cell expansion in roots. **New Phytologist**, v. 127, n. 68, p. 3–26, 1994.

PUNTEL, L. A. **Field characterization of maize photosynthesis response to light and leaf area index under different nitrogen levels: a modeling approach.** [s.l.] Iowa State University, 2012.

PURCELL, L. C.; EDWARDS, J. T.; BRYE, K. R. Soybean yield and biomass responses to cumulative transpiration: Questioning widely held beliefs. **Field Crops Research**, v. 101, n. 1, p. 10–18, fev. 2007.

QIANG-YUN, S. et al. Effects of Selenium on Maize Ovary Development at Pollination Stage Under Water Deficits. **Agricultural Sciences in China**, v. 7, n. 11, p. 1298–1307, nov. 2008.

RAI, M. K. et al. Developing stress tolerant plants through in vitro selection—An overview of the recent progress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 89–98, abr. 2011.

RASHIDI, M.; KESHAVARZPOUR, F. Effect of different tillage methods on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 9, n. 2, p. 274–277, 2007.

RAWLS, W. J. W. et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, n. 1–2, p. 61–76, set. 2003.

REICHERT, J. M. et al. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1547–1560, dez. 2009.

REIMER, P. et al. Root response to temperature extremes: association mapping of temperate maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, n. 58, p. 156–168, 2013.

REN, B. et al. Ridge tillage improves plant growth and grain yield of waterlogged summer maize. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 392–399, 2016.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Yowa: [s.n.].

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Encarte de informações agronômicas**, n. 103, p. 1–20, 2003.

SAJJADIAN, S.; ALIZADEH, O.; NEJAD, K. Study the Relationship Between Yield Components of Corn With Planting Patterns and Tillage Methods. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, n. 8, p. 2200–2207, 2011.

SALARASHAYERI, A. F.; SIOSEMARDE, M. Prediction of Soil Hydraulic Conductivity from Particle-Size Distribution. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 61, p. 454–458, 2012.

SANCHEZ, I.; ZAPATA, N.; FACI, J. M. Combined effect of technical, meteorological and agronomical factors on solid-set sprinkler irrigation: I. Irrigation performance and soil water recharge in alfalfa and maize. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 10, p. 1571–1581, out. 2010.

SANDERSON, J. B.; DAYNARD, T. B.; TOLLENAAR, M. A mathematical model of the shape of corn leaves. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 61, n. 4, p. 1009–1011, out. 1981.

SANGOI, L. et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, n. 1, p. 39–51, dez. 2002.

SASAL, M. C. C.; ANDRIULO, A. E. E.; TABOADA, M. A. A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. **Soil and Tillage Research**, v. 87, n. 1, p. 9–18, maio 2006.

SAUER, T. J. et al. Radiation balance and evaporation partitioning in a narrow-row soybean canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, n. 3–4, p. 206–214, ago. 2007.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1569, 2006.

SCHWEN, A. et al. Temporal dynamics of soil hydraulic properties and the water-conducting porosity under different tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 113, n. 2, p. 89–98, jun. 2011.

SCHWERZ, L. et al. **Estimação da área foliar em híbridos de milho com arquiteturas foliares contrastantes por meio de dimensões e massa das folhas**. XXIX Congresso Nacional De Milho E Sorgo. **Anais...** Águas de Lindóia - SP: 2012

SEPASKHAH, A. R.; FAHANDEZH-SAADI, S.; ZAND-PARSA, S. Logistic model

application for prediction of maize yield under water and nitrogen management. **Agricultural Water Management**, v. 99, n. 1, p. 51–57, 2011.

SHAFI, M. et al. Soil C and N dynamics and maize (*Zea mays* L.) yield as affected by cropping systems and residue management in North-western Pakistan. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 520–529, jun. 2007.

SHIN, Y.; MOHANTY, B. P.; INES, A. V. M. Estimating Effective Soil Hydraulic Properties Using Spatially Distributed Soil Moisture and Evapotranspiration. **Vadose Zone Journal**, v. 12, n. 3, 2013.

SILVA, B. M. et al. Índice S No Diagnóstico Da Qualidade Estrutural De Latossolo Muito Argiloso Sob Manejo Intensivo. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 338–345, 2012.

ŠIMŮNEK, J.; GENUCHTEN, M. VAN. Parameter estimation of unsaturated soil hydraulic properties from transient flow processes. **Soil and Tillage Research**, v. 47, p. 27–36, 1998.

ŠIMŮNEK, J.; WENDROTH, O.; VAN GENUCHTEN, M. T. Parameter estimation analysis of the evaporation method for determining soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 894–905, 1998.

SIQUEIRA, M.; KATUL, G.; PORPORATO, A. Soil Moisture Feedbacks on Convection Triggers: The Role of Soil–Plant Hydrodynamics. **Journal of Hydrometeorology**, v. 10, n. 1, p. 96–112, fev. 2009.

SOLANKI, S. K.; KRIVOVA, N. A.; HAIGH, J. D. Solar Irradiance Variability and Climate. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 51, n. 1, p. 311–351, 18 ago. 2013.

SOLER, C. M. T. et al. Impact of Water Stress on Maize Grown Off-Season in a Subtropical Environment. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, n. 4, p. 247–261, ago. 2007.

SONG, Y. et al. Morphological characteristics of maize canopy development as affected by increased plant density. **PLoS ONE**, v. 11, n. 4, p. 1–10, 2016.

SONG, Z. et al. Impacts of planting systems on soil moisture, soil temperature and corn yield in rainfed area of Northeast China. **European Journal of Agronomy**, v. 50, p. 66–74, out. 2013.

SPOLLEN, W. G. et al. Spatial distribution of transcript changes in the maize primary root elongation zone at low water potential. **BMC plant biology**, v. 8, n. 2004, p. 32, jan. 2008.

SRIVASTAVA, A. K. et al. Climate change impact under alternate realizations of climate scenarios on maize yield and biomass in Ghana. **Agricultural Systems**, n. September 2016, p. 0–1, mar. 2017.

STEDUTO, P. et al. **Crop yield response to water**. Roma: FAO, 2012.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. Maize canopies under two soil water regimes: III. Variation in coupling with the atmosphere and the role of leaf area index. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 89, p. 201–213, 1998.

STEIN, M.; MIGUEZ, F.; EDWARDS, J. Effects of Plant Density on Plant Growth Before and After Recurrent Selection in Maize. **Crop Science**, n. december, p. 1–40, 2016.

STRUDLEY, M. W. et al. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 1, p. 4–48, abr. 2008.

SUBEDI, K. D.; MA, B. L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. **Crop Science**, v. 45, n. 6, p. 2246–2257, 2005.

SUWA, R. et al. High temperature effects on photosynthate partitioning and sugar metabolism during ear expansion in maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 2–3, p. 124–130, 2010.

SUYKER, A. E.; VERMA, S. B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 3–4, p. 443–452, mar. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publicatio ed. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.

TOJO SOLER, C. M.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. **The Journal of Agricultural Science**, v. 143, n. 2–3, p. 169–182, 2005.

TOKATLIDIS, I. .; KOUTROUBAS, S. . A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**, v. 88, n. 2–3, p. 103–114, ago. 2004.

TORMENA, C. A. et al. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 1, p. 56–60, 2008.

TSIMBA, R. et al. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v. 150, p. 135–144, ago. 2013a.

TSIMBA, R. et al. The effect of planting date on maize: Phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. **Field Crops Research**, v. 150, p. 145–155, ago. 2013b.

TUCCI, C. **HIDROLOGIA: Ciência e Aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

TUECHE, J. R. R.; HAUSER, S. Maize (*Zea mays* L.) yield and soil physical properties as affected by the previous plantain cropping systems, tillage and nitrogen application. **Soil and Tillage Research**, v. 115–116, p. 88–93, out. 2011.

TULLER, M.; OR, D. Retention of water in soil and the soil water characteristic curve. **Encyclopedia of Soils in the Environment**, v. 4, p. 278–289, 2004.

TUZZIN DE MORAES, M. et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351–362, 2016.

UNGER, P.; VIGIL, M. **Cover crop effects on soil water relationships** *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998. Disponível em:
<http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=Z2Kb@kN@fe5AmCHk943&page=1&doc=1>

VAN DUIJN, C. J.; PIETERS, G. J. M.; RAATS, P. A. C. Steady Flows in Unsaturated Soils Are Stable. **Transport in Porous Media**, v. 57, n. 2, p. 215–244, nov. 2004.

VASCONCELLOS, C.; AMORIM, J. Simulação numérica da infiltração da água em meios porosos não-saturados homogêneos. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, n. 21, [s.d.].

VILLA NOVA, N. A. et al. Estimation of the potential evapotranspiration by a simplified penman method. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 713–721, dez. 2006.

WALKER, G. K. Transpiration efficiency of field-grown maize. **Field Crops Research**, v. 14, p. 29–38, jan. 1986.

WANG, Q. et al. The effects of no-tillage with subsoiling on soil properties and maize yield: 12-Year experiment on alkaline soils of Northeast China. **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 43–49, 2014.

WANG, X. et al. Dryland maize yields and water use efficiency in response to tillage/crop stubble and nutrient management practices in China. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 47–57, jan. 2011.

WANG, Z.; MAMBELLI, S.; SETTER, T. Absciscic Acid Catabolism in Maize Kernels in Response to Water Deficit at Early Endosperm Development. **Annals of Botany**, v. 90, n. 5, p. 623–630, 2 out. 2002.

WARRICK, A. W.; OR, D. SOIL WATER CONCEPTS. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: Design, operation, and management**. [s.l.] Elsevier, 2007. p. 27–59.

WATIKI, J. M. et al. Radiation interception and growth of maize/cowpea intercrop as affected by maize plant density and cowpea cultivar. **Field Crops Research**, v. 35, n. 2, p. 123–133, nov. 1993.

WEBER, V. S. et al. Prediction of grain yield using reflectance spectra of canopy and leaves in maize plants grown under different water regimes. **Field Crops Research**, v. 128, p. 82–90, mar. 2012.

WHITMORE, A. P.; WHALLEY, W. R. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2845–57, jan. 2009.

WU, Y.-Z.; HUANG, M.-B.; WARRINGTON, D. N. Responses of different physiological indices for maize (*Zea mays*) to soil water availability. **Pedosphere**, v. 21, n. 5, p. 639–649, out. 2011.

- YAISH, M. W.; COLASANTI, J.; ROTHSTEIN, S. J. The role of epigenetic processes in controlling flowering time in plants exposed to stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 11, p. 3727–35, jul. 2011.
- YANG, C. et al. Assessment of irrigated maize yield response to climate change scenarios in Portugal. **Agricultural Water Management**, v. 184, p. 178–190, abr. 2017.
- YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, n. 1–2, p. 61–74, abr. 1995.
- YANG, Y. et al. Simulating canopy transpiration and photosynthesis of corn plants under contrasting water regimes using a coupled model. **Transactions of the ASABE**, v. 52, n. 3, p. 1011–1024, 2009.
- YANG, Y.; MASSA, G. D.; MITCHELL, C. A. Temperature DIP at the beginning of the photoperiod reduces plant height but not seed yield of maize grown in controlled environments. **Industrial Crops and Products**, v. 53, p. 120–127, fev. 2014.
- YAO, Z. et al. Crop performance as affected by three opening configurations for no-till seeder in annual double cropping regions of northern China. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, n. 8, p. 839, 2009.
- YI, L. et al. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 606–613, 15 abr. 2010.
- YIN, X. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 77, n. 1–2, p. 1–16, nov. 1995.
- YIN, X.; STRUIK, P. C. Modelling the crop: from system dynamics to systems biology. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 8, p. 2171–83, maio 2010.
- YING, J.; LEE, E. .; TOLLENAAR, M. Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain-filling period. **Field Crops Research**, v. 68, n. 2, p. 87–96, 2000.
- YYGREAVES, J. A. Improving suboptimal temperature tolerance in maize- the search for variation. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 3, p. 307–323, 1996.
- ZHOU, B. et al. Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions. **The Crop Journal**, v. 5, n. 1, p. 1–9, 2016.
- ZHU, J. et al. Early competition shapes maize whole-plant development in mixed stands - support information. **Journal of Experimental Botany**, v. 114, n. 2, p. 1–5, 4 dez. 2013.
- ZHU, X.-G.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 235–61, jan. 2010.
- ZHUANG, J. et al. Soil Water Hysteresis in Water-Stable Microaggregates as Affected by Organic Matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, p. 212, 2008.

ZURMÜHL, T.; DURNER, W. Determination of parameters for bimodal hydraulic functions by inverse modeling. **Soil Science Society of American Journal**, v. 62, n. 4, p. 874–880, 1998.

ZWART, S. J.; BASTIAANSEN, W. G. M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. **Agricultural Water Management**, v. 69, n. 2, p. 115–133, set. 2004.

APÊNDICE A – MÉDIAS DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS DO PERÍODO
COMPREENDIDO ENTRE 2010 E 2016 PARA A REGIÃO DE PONTA GROSSA, PR

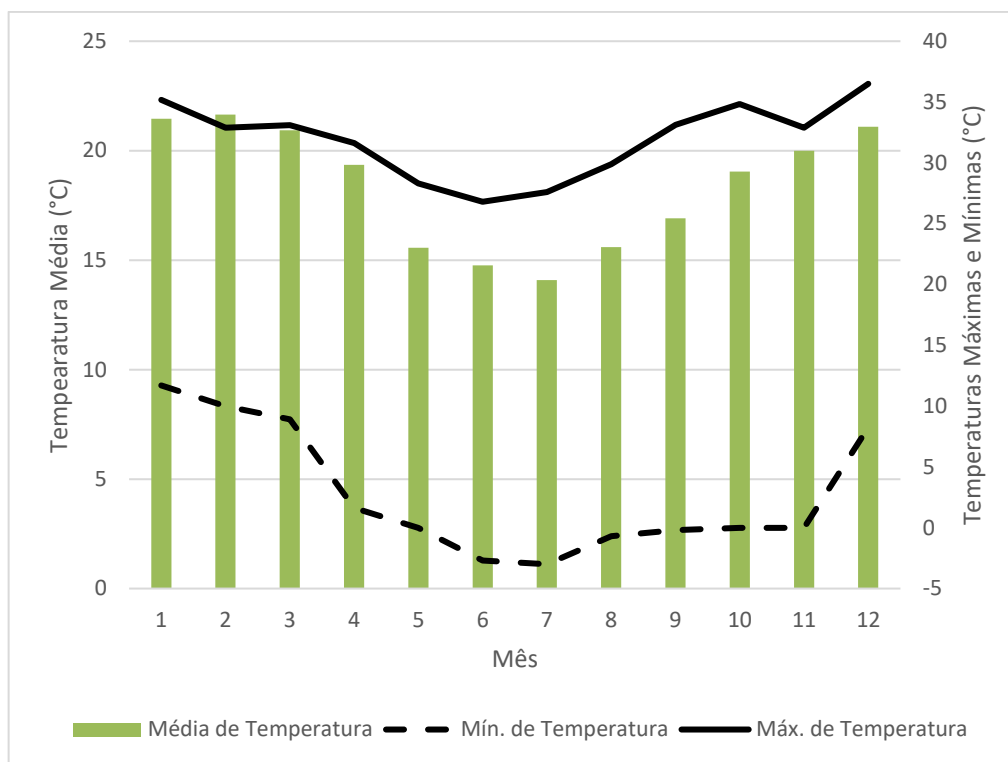


Figura 64 – Regime de temperatura mínima, média e máxima em Ponta Grossa – PR (dados diários do período entre 2010 e 2016). (Fonte: SIMEPAR)

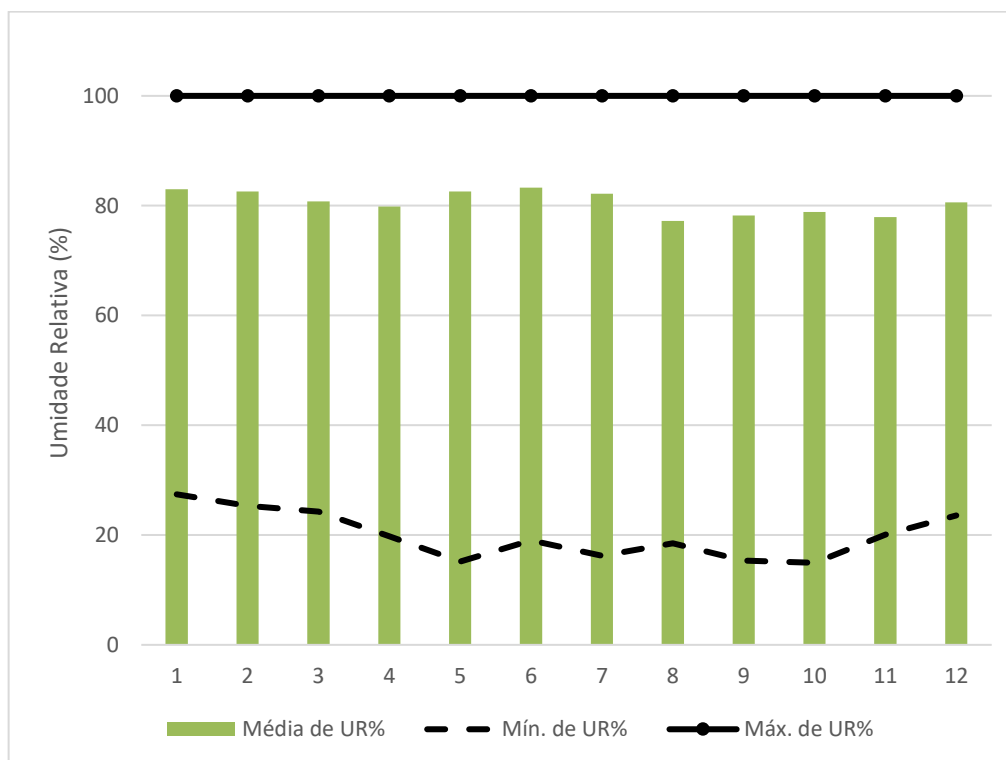


Figura 65 - Regime de umidade relativa do ar mínima, média e máxima em Ponta Grossa – PR (dados diários do período entre 2010 e 2016) (Fonte: SIMEPAR).

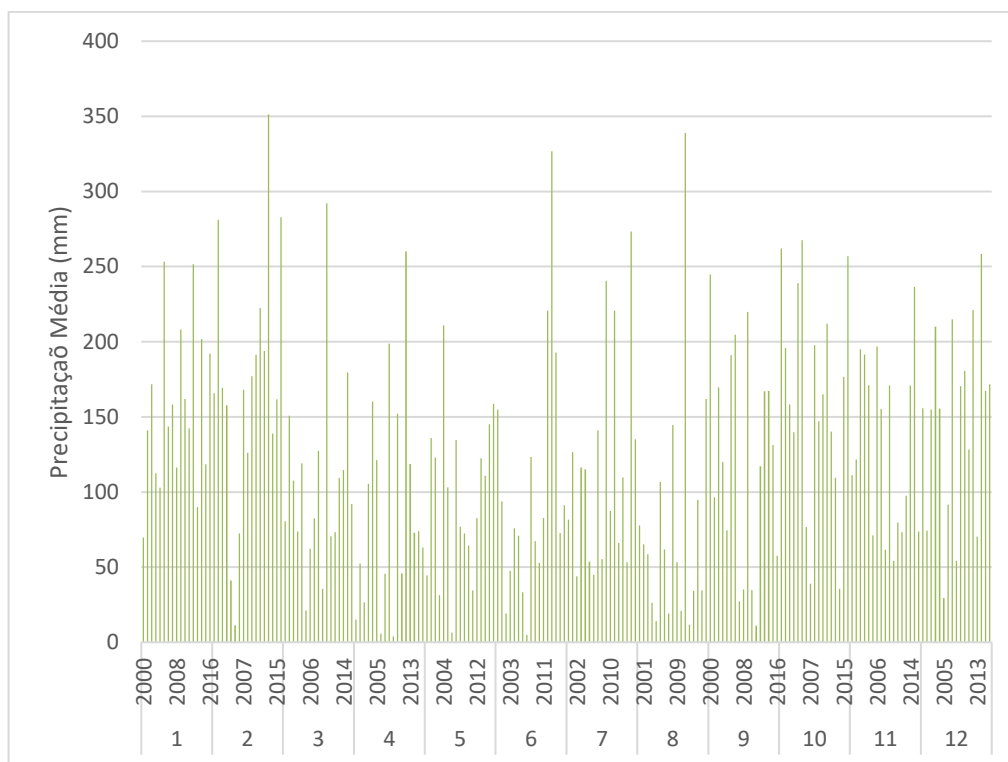
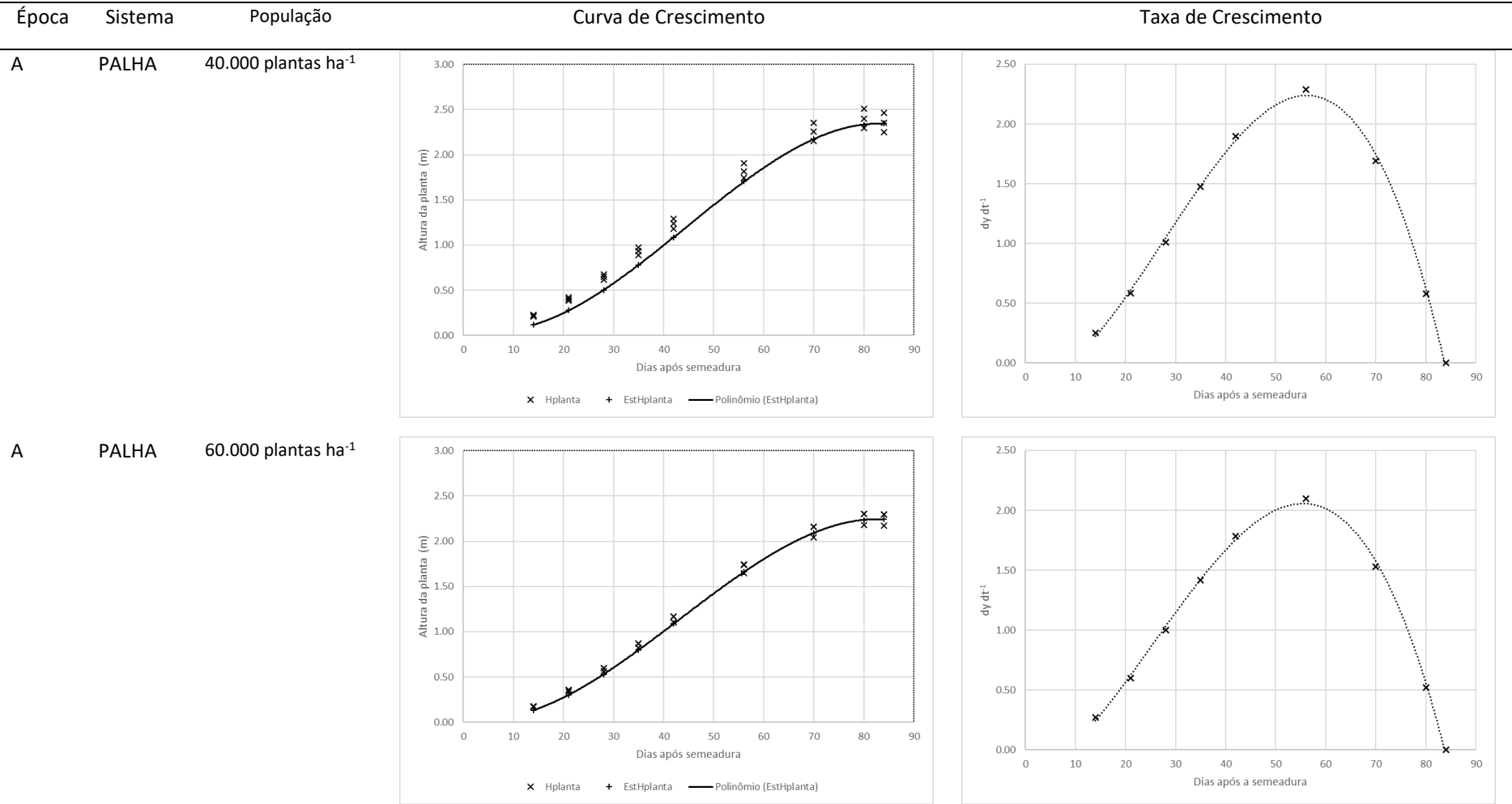
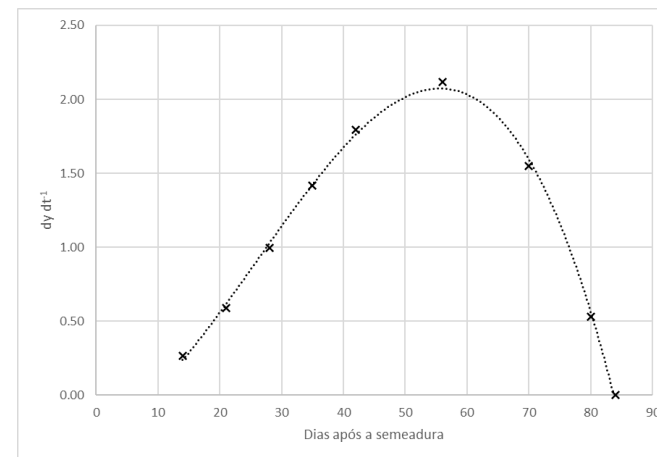
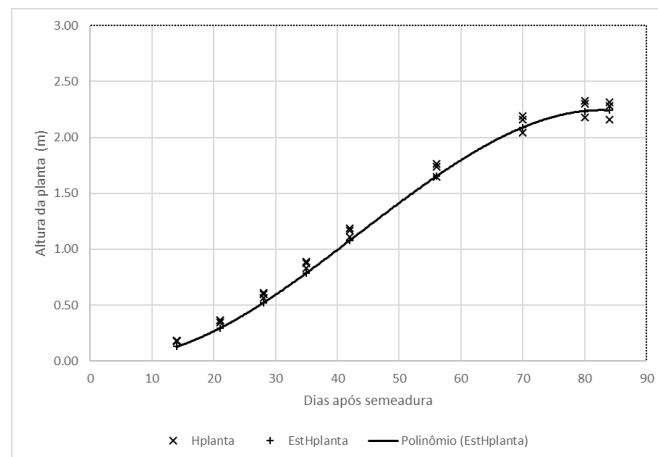


Figura 66 – Total de precipitação pluvial (mm) em Ponta Grossa, PR. (dados diários do período entre 2010 e 2016). (Fonte: SIMEPAR).

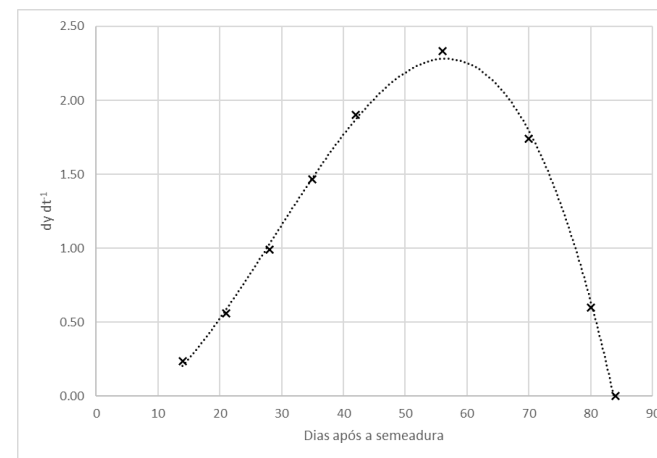
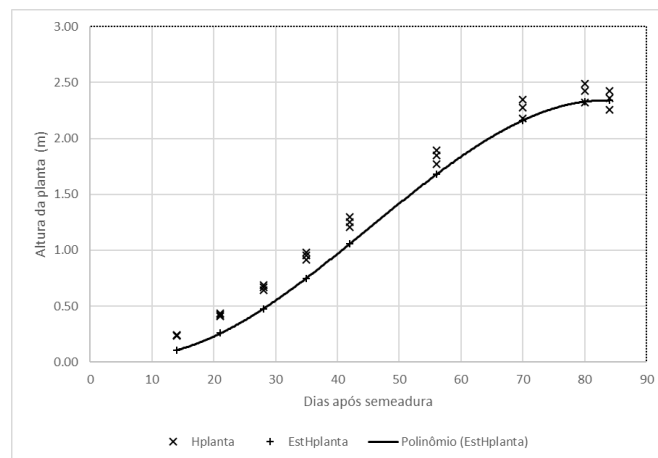
APÊNDICE B – CURVAS AJUSTADAS DO MODELO SENOIDAL DE CRESCIMENTO
DAS PLANTAS DE MILHO PARA A SAFRA 2014/2015.



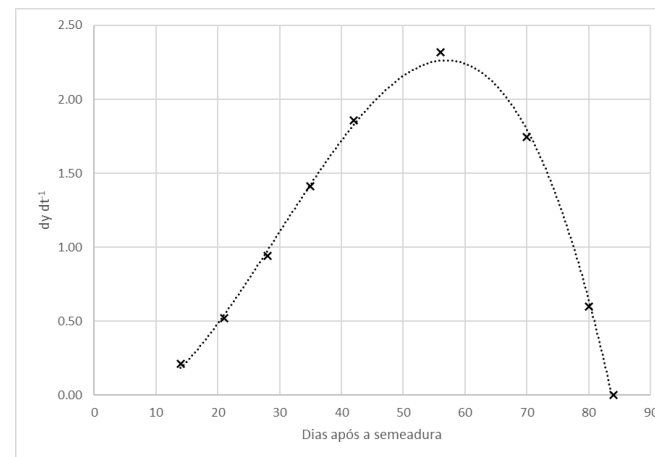
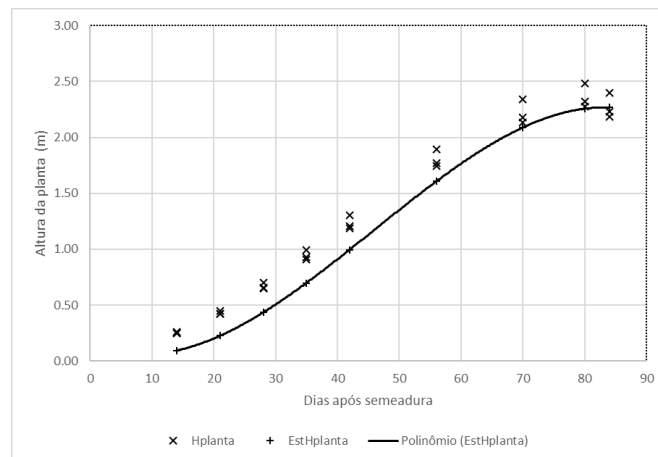
A PALHA 80.000 plantas ha⁻¹



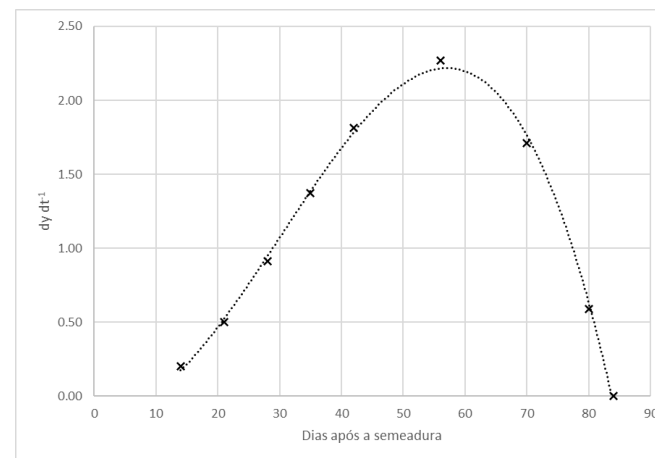
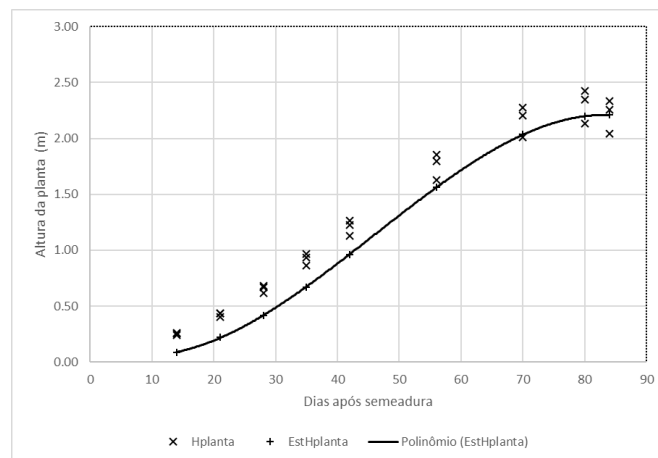
A PALHA 100.000 plantas ha⁻¹



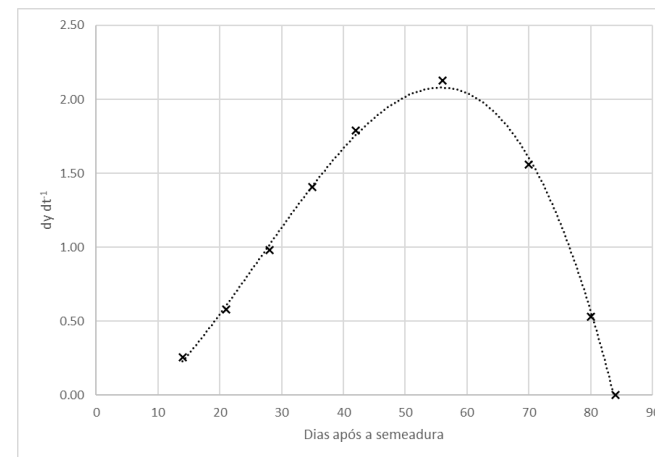
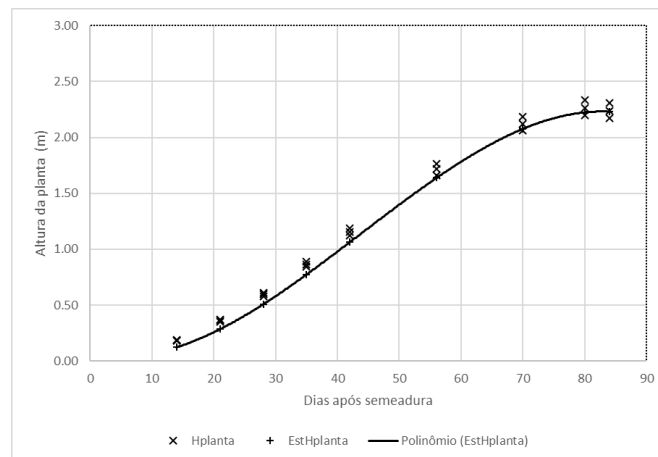
A PALHA 120.000 plantas ha⁻¹



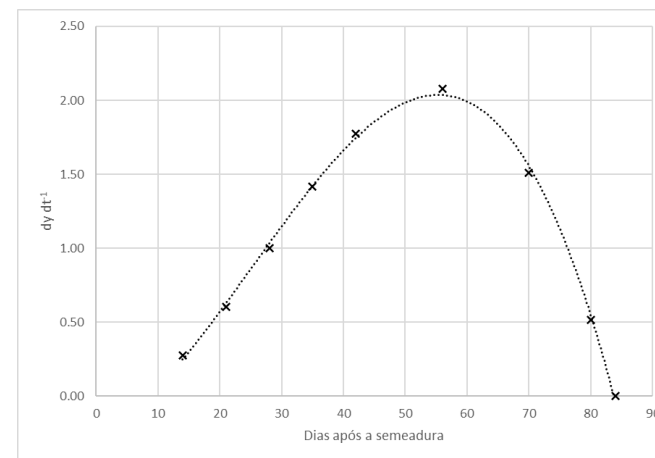
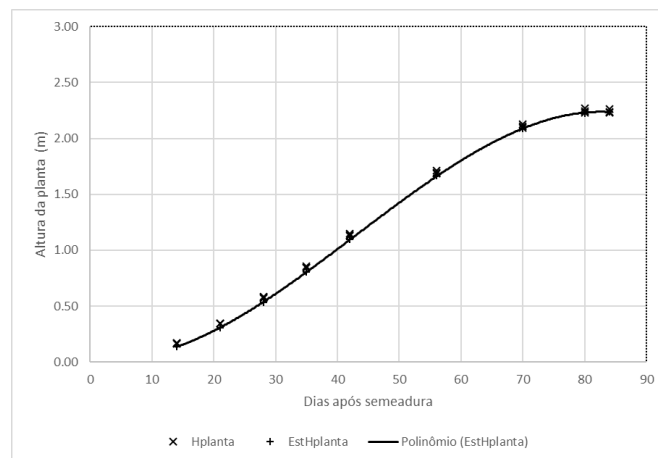
A SOLO NU 40.000 plantas ha⁻¹



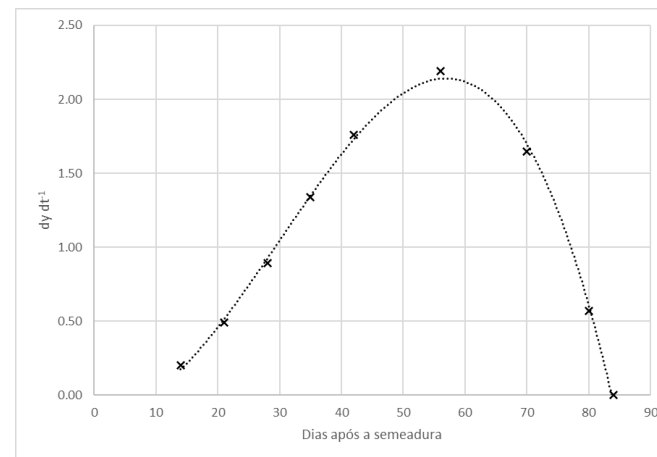
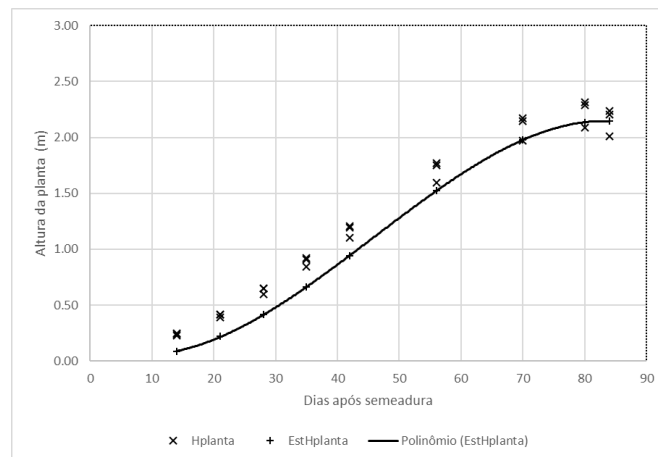
A SOLO NU 60.000 plantas ha⁻¹



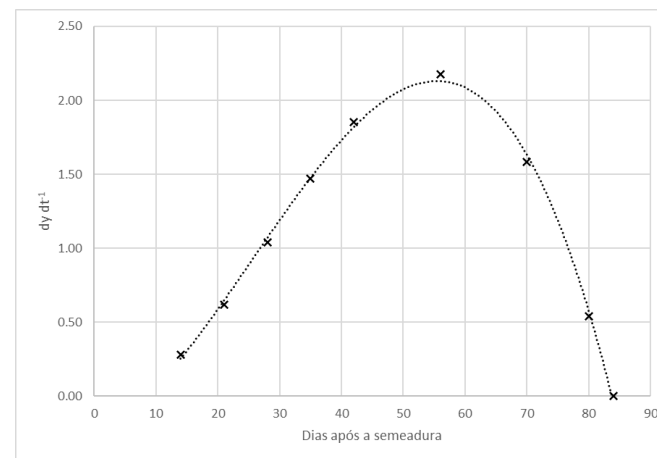
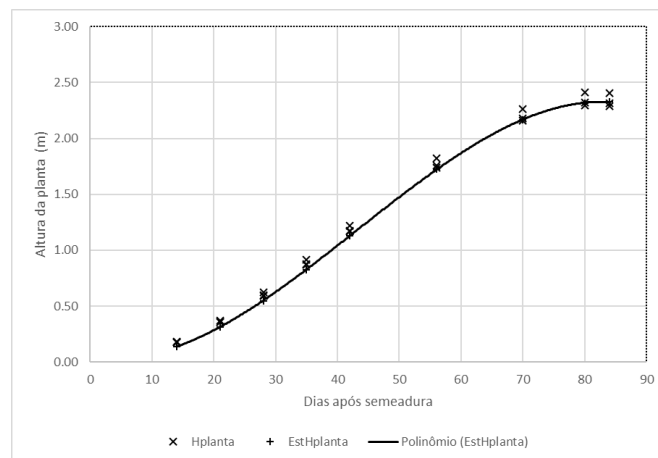
A SOLO NU 80.000 plantas ha⁻¹



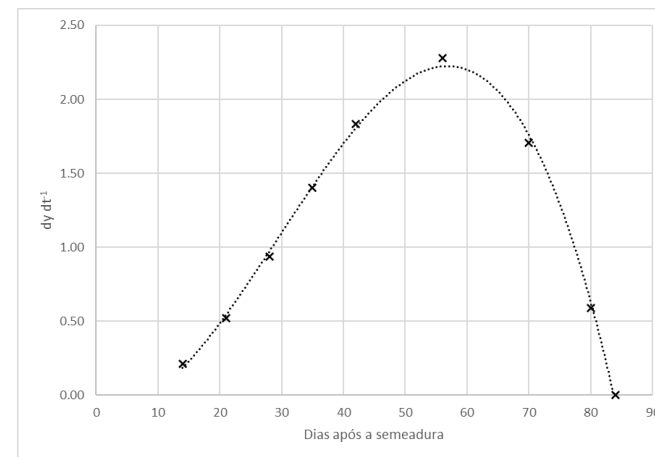
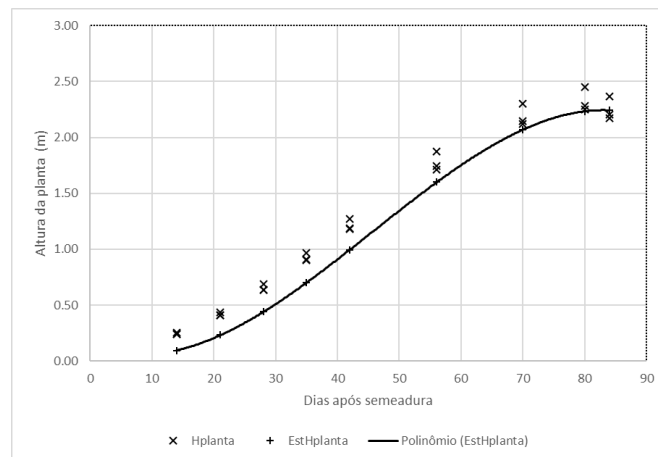
A SOLO NU 100.000 plantas ha⁻¹



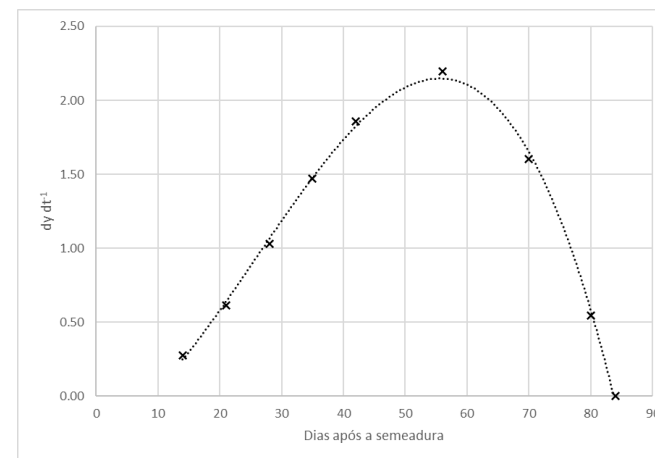
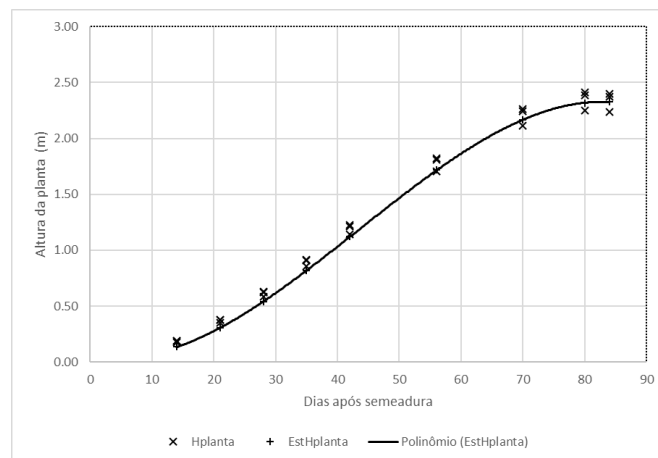
A SOLO NU 120.000 plantas ha⁻¹



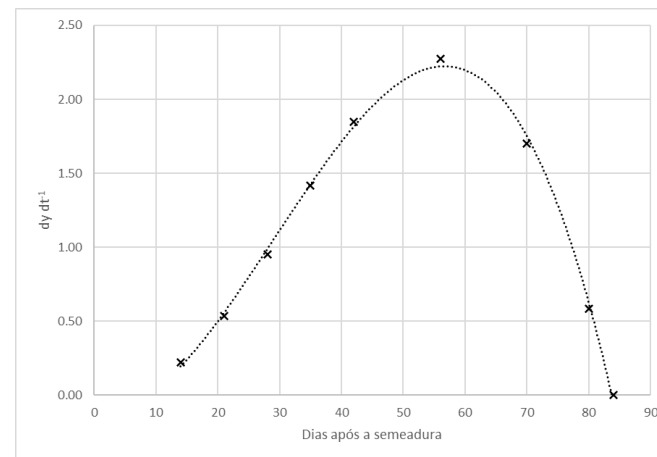
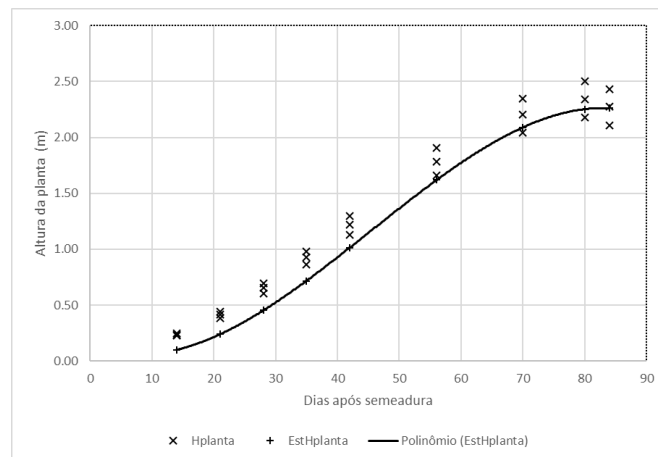
A POUSIO 40.000 plantas ha⁻¹



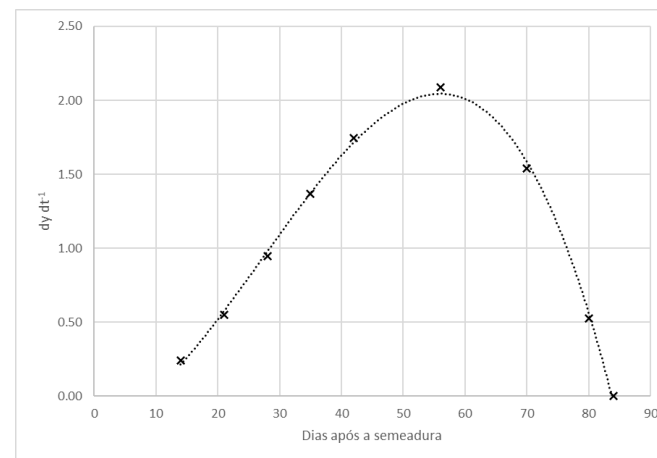
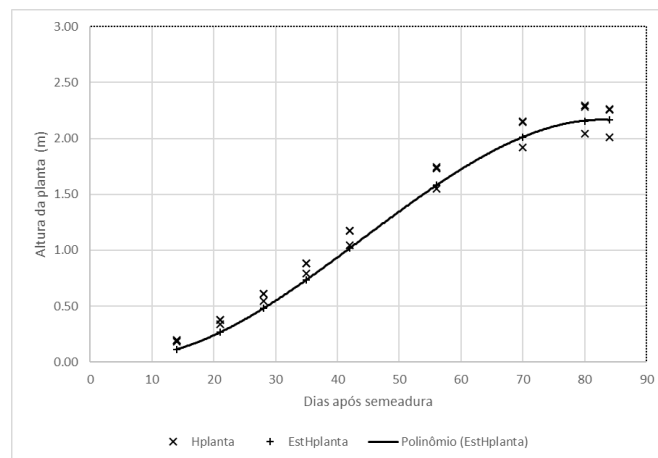
A POUSIO 60.000 plantas ha⁻¹



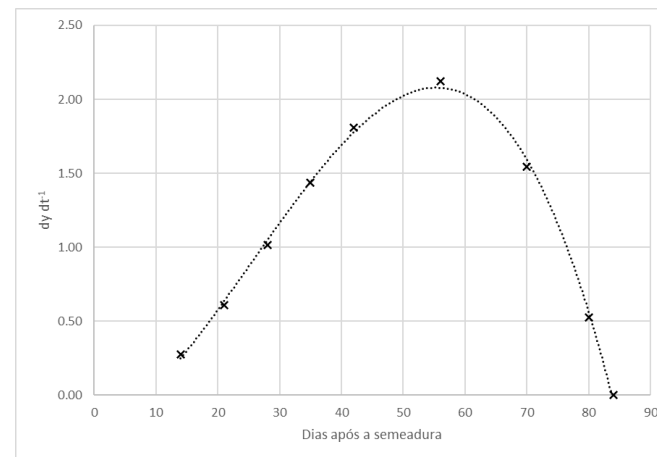
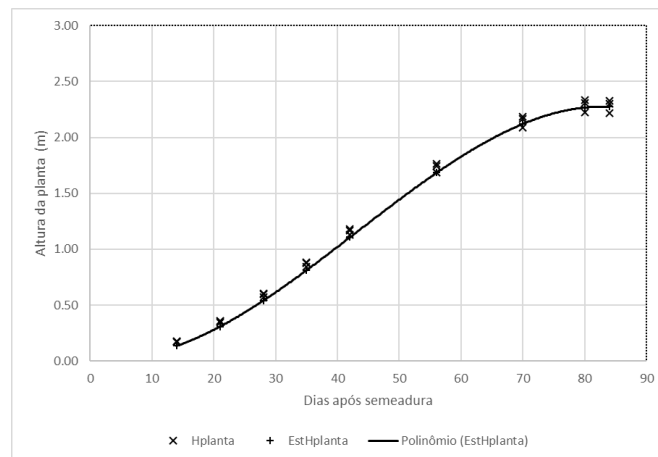
A POUSIO 80.000 plantas ha⁻¹



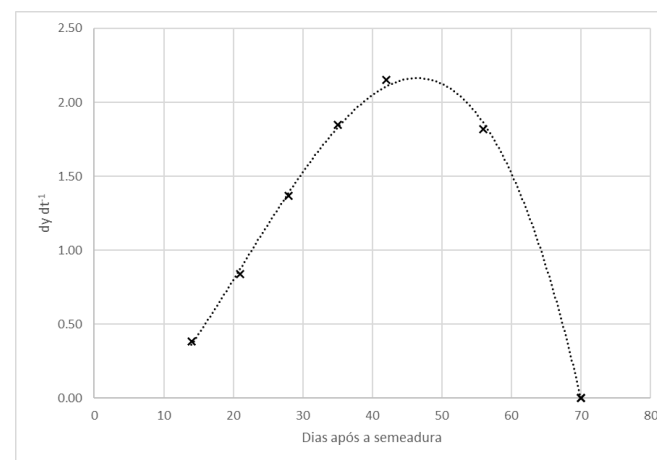
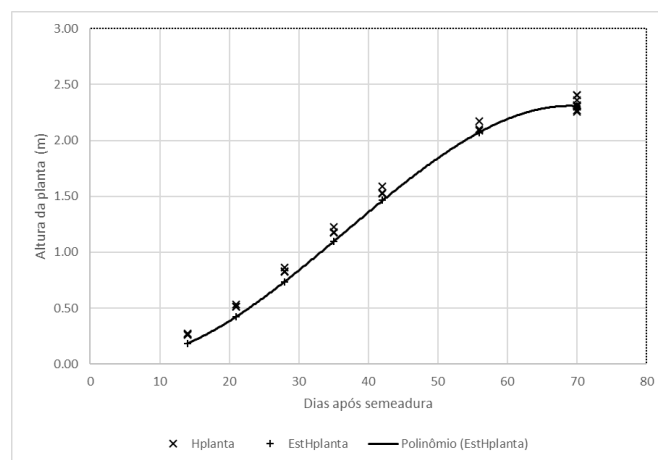
A POUSIO 100.000 plantas ha⁻¹



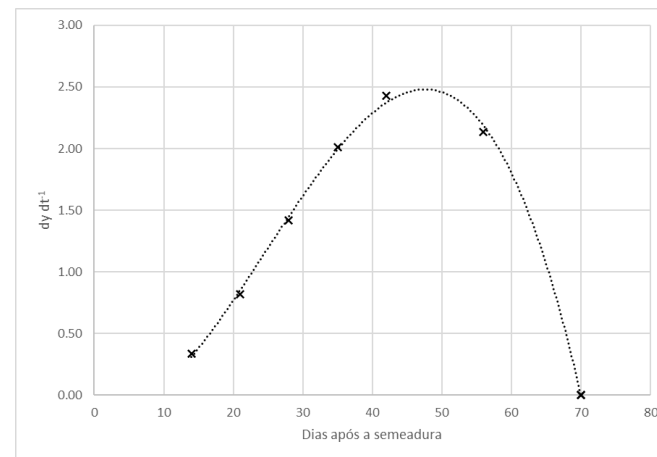
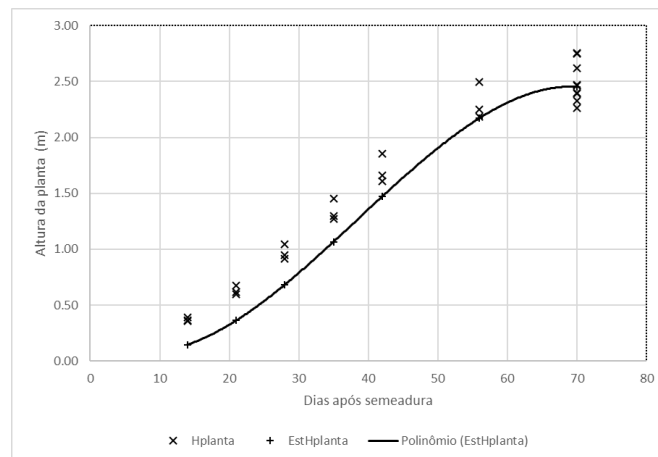
A POUSIO 120.000 plantas ha⁻¹



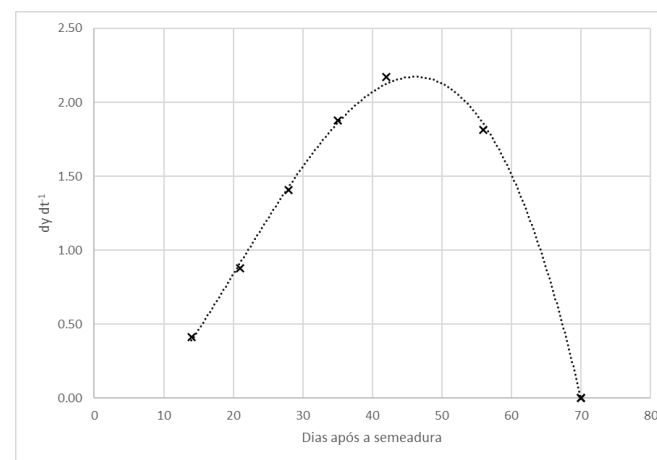
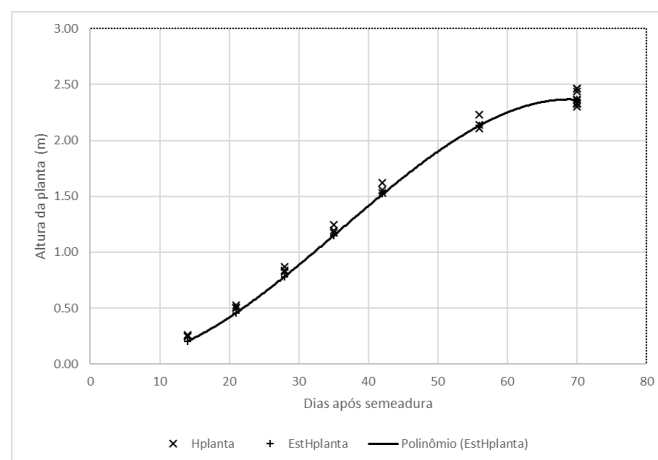
B PALHA 40.000 plantas ha⁻¹



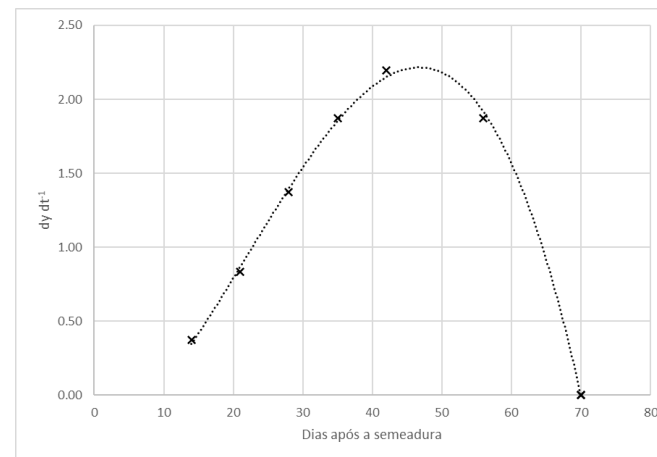
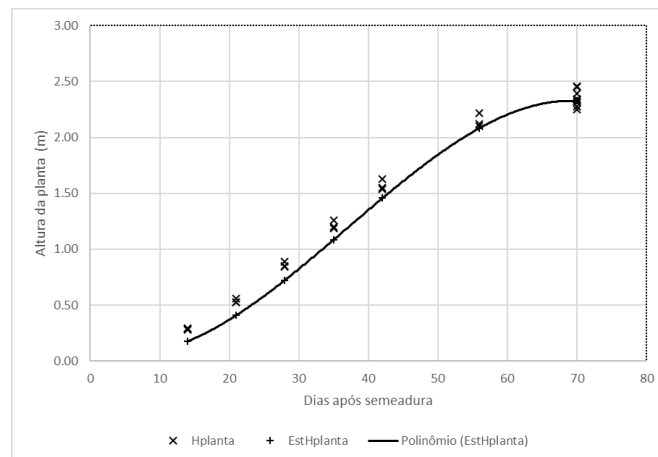
B PALHA 60.000 plantas ha⁻¹



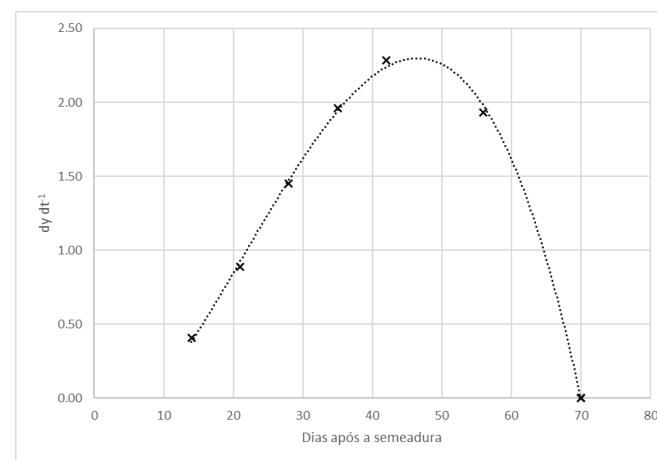
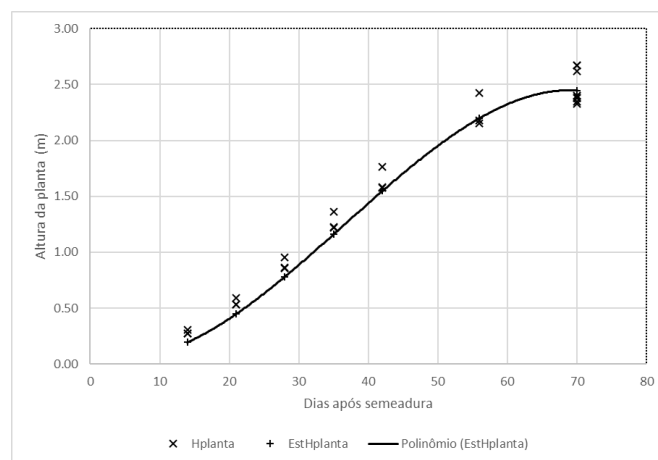
B PALHA 80.000 plantas ha⁻¹



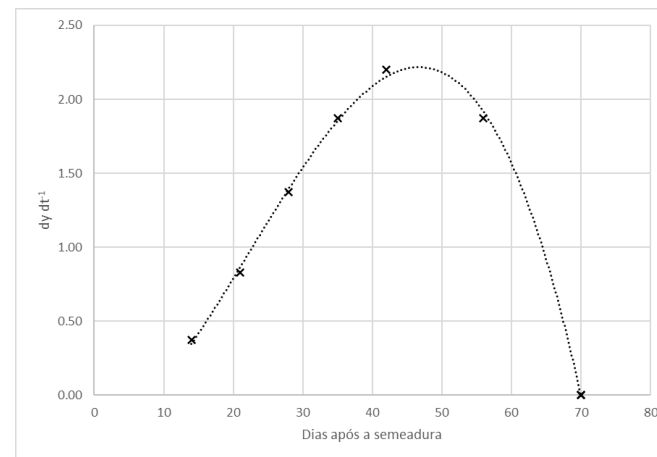
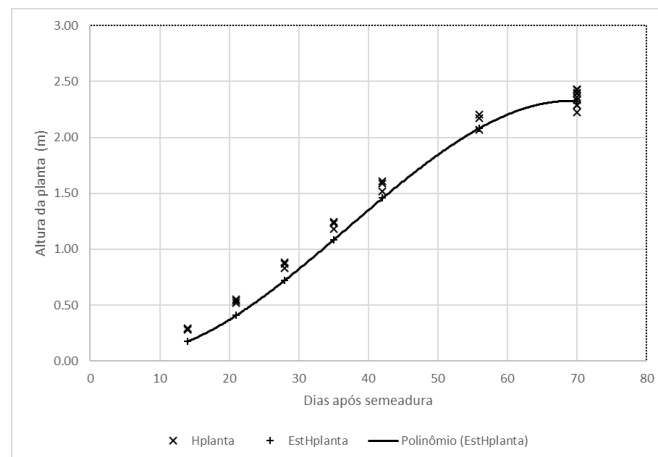
B PALHA 100.000 plantas ha⁻¹



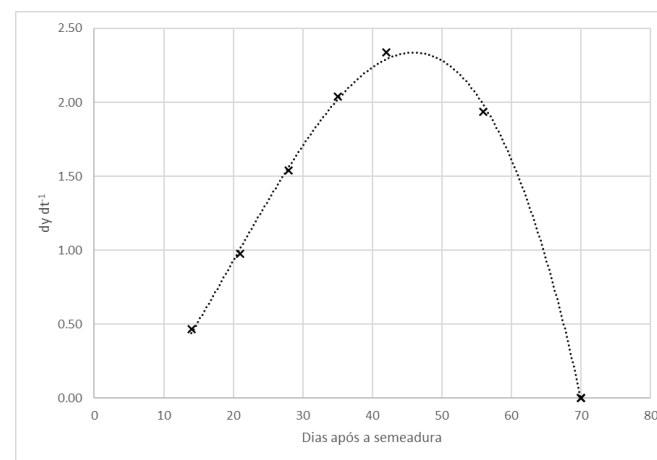
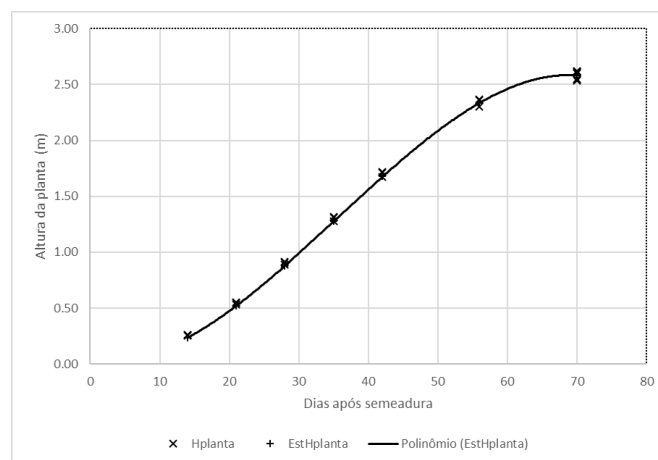
B PALHA 120.000 plantas ha⁻¹



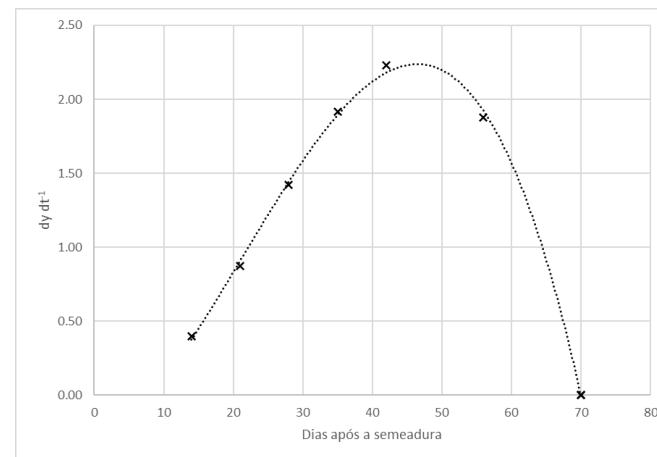
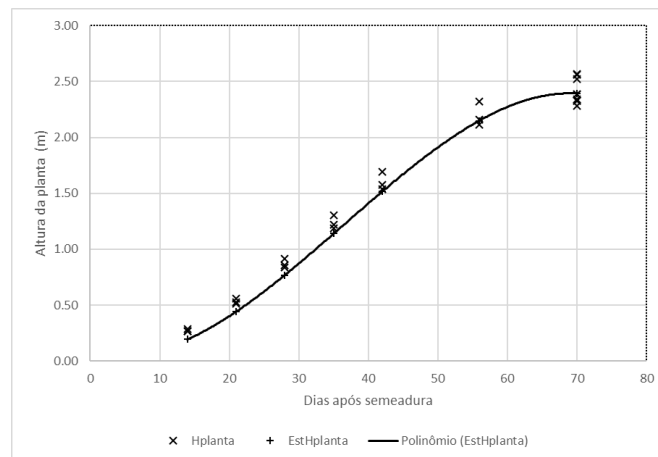
B SOLO NU 40.000 plantas ha⁻¹



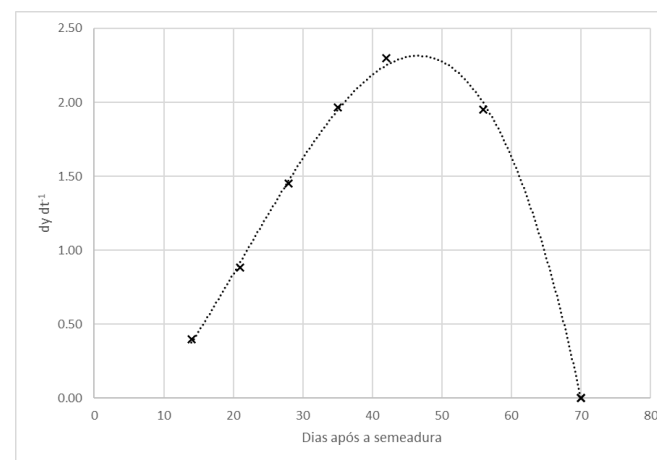
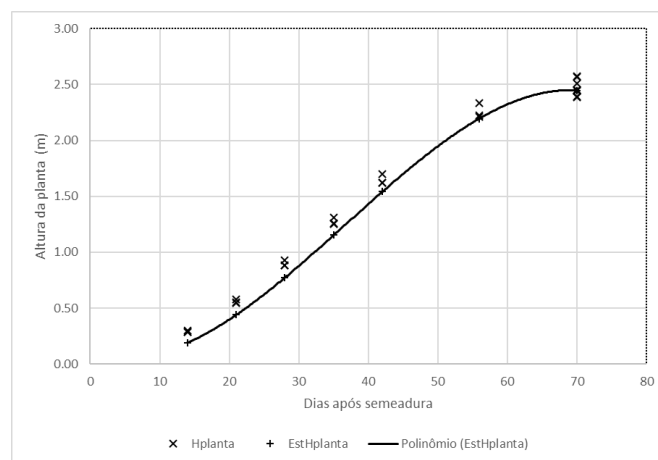
B SOLO NU 60.000 plantas ha⁻¹



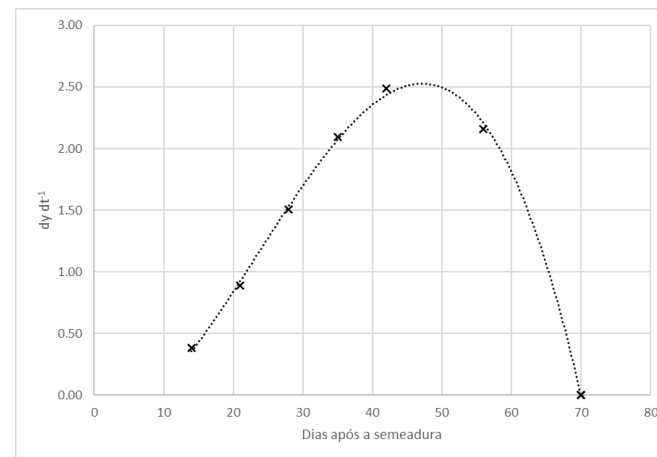
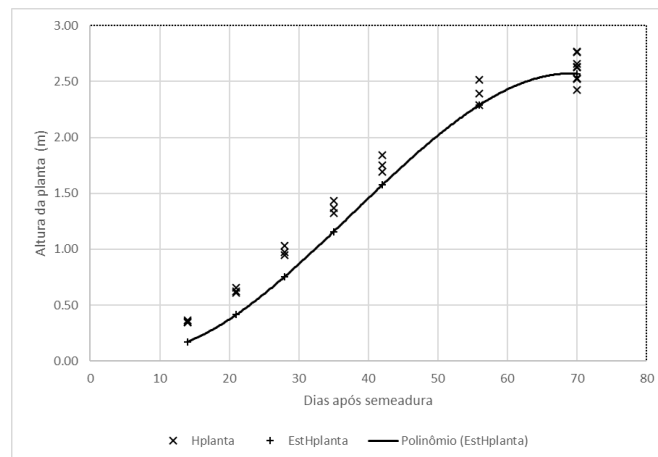
B SOLO NU 80.000 plantas ha⁻¹



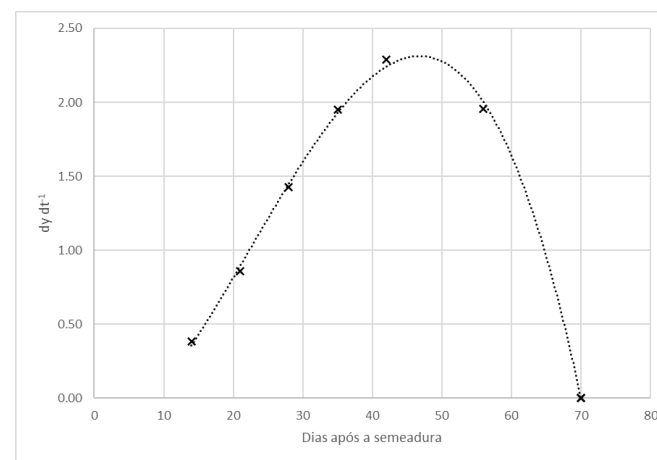
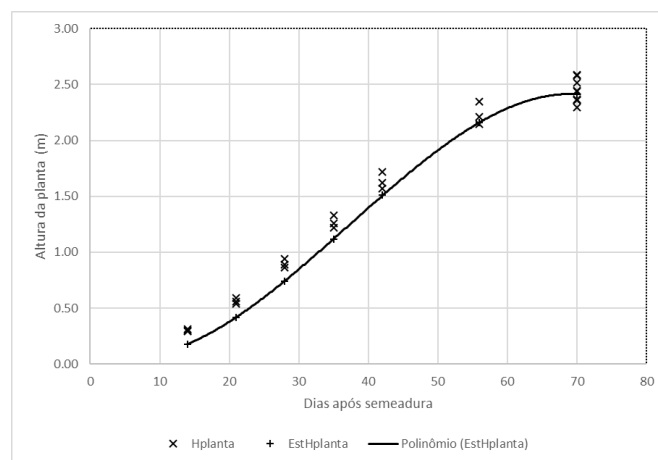
B SOLO NU 100.000 plantas ha⁻¹



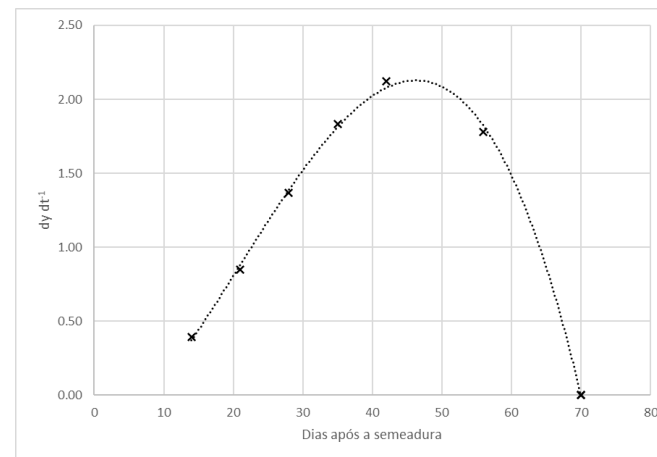
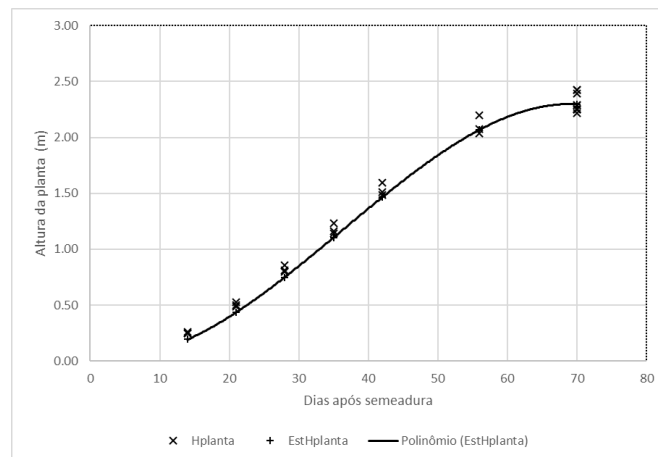
B SOLO NU 120.000 plantas ha⁻¹



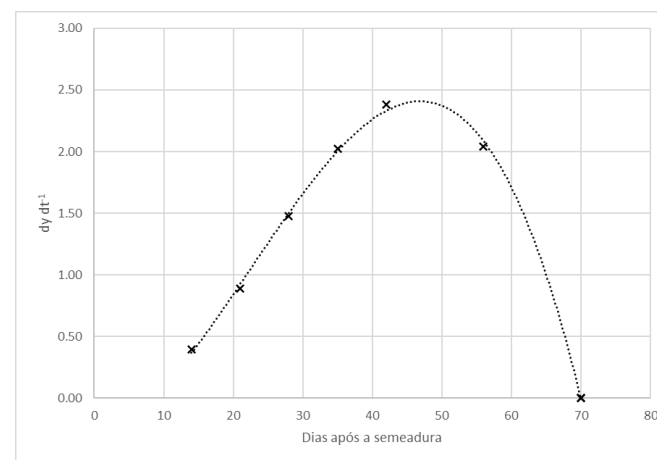
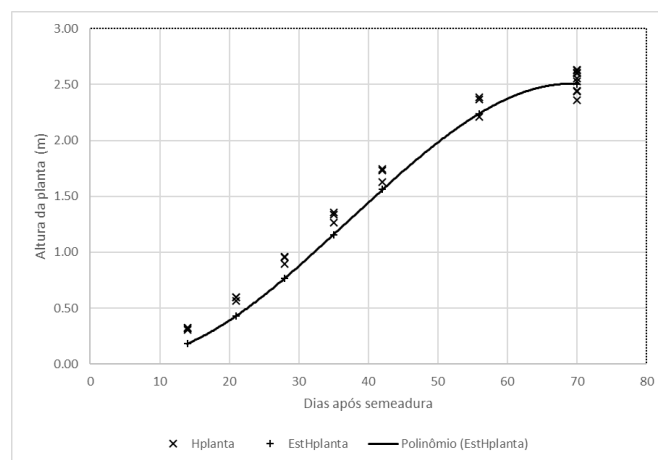
B POUSIO 40.000 plantas ha⁻¹



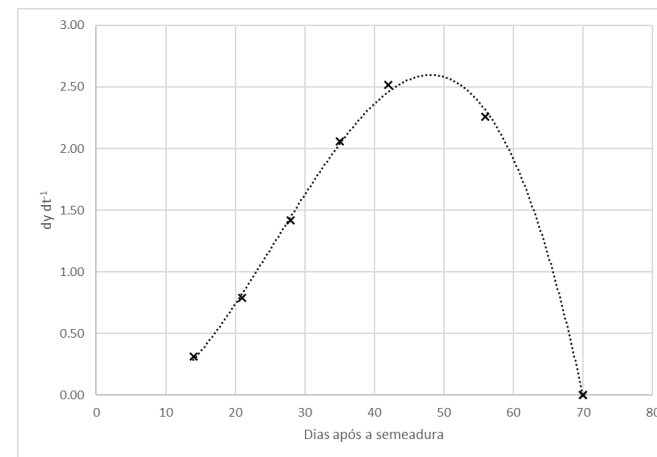
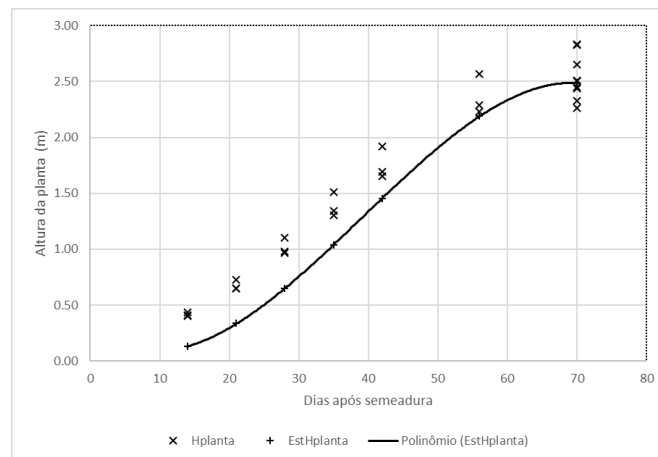
B POUSIO 60.000 plantas ha⁻¹



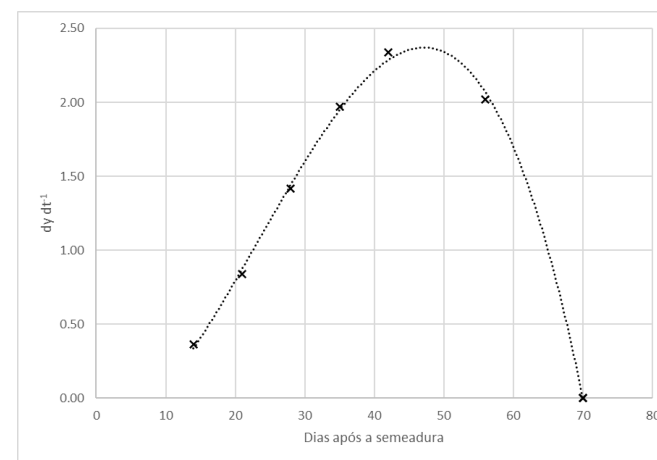
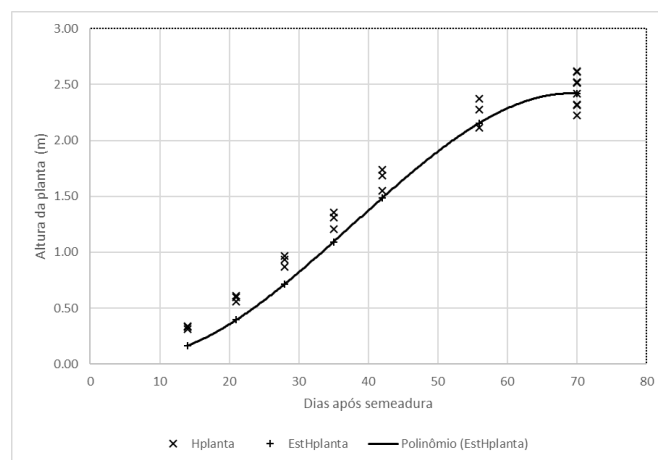
B POUSIO 80.000 plantas ha⁻¹



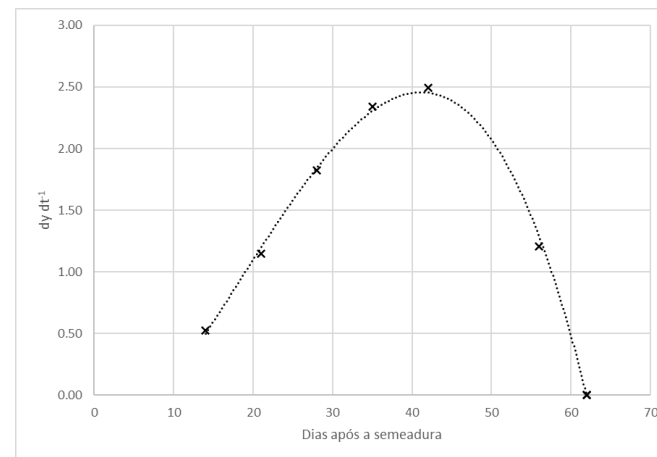
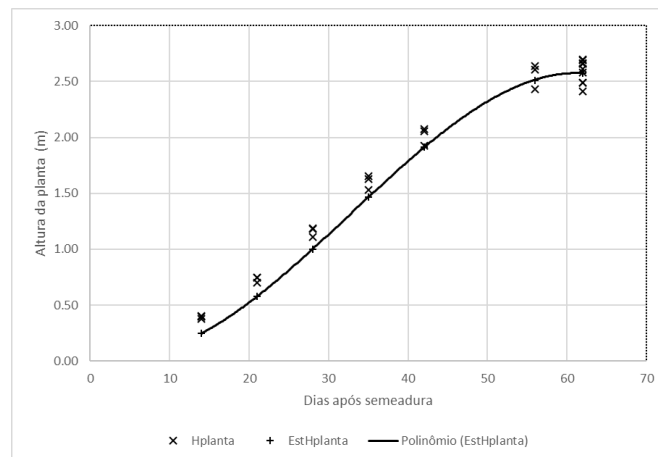
B POUSIO 100.000 plantas ha⁻¹



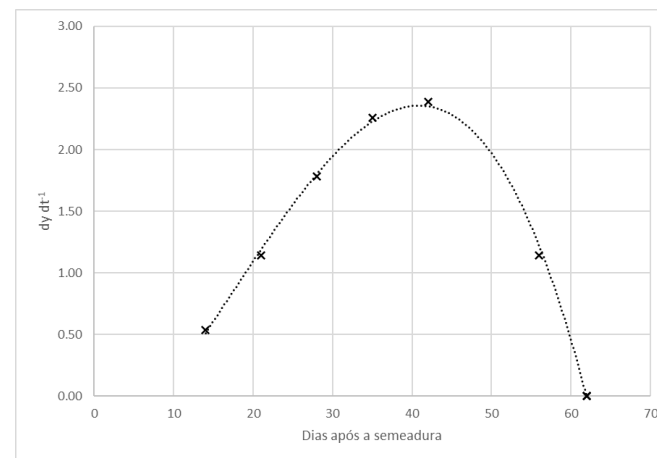
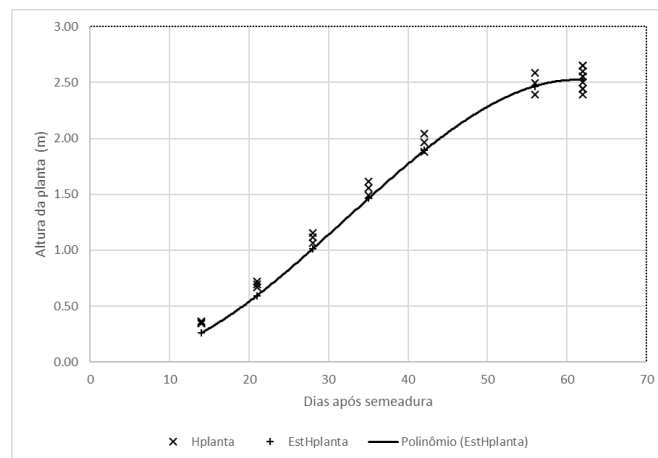
B POUSIO 120.000 plantas ha⁻¹



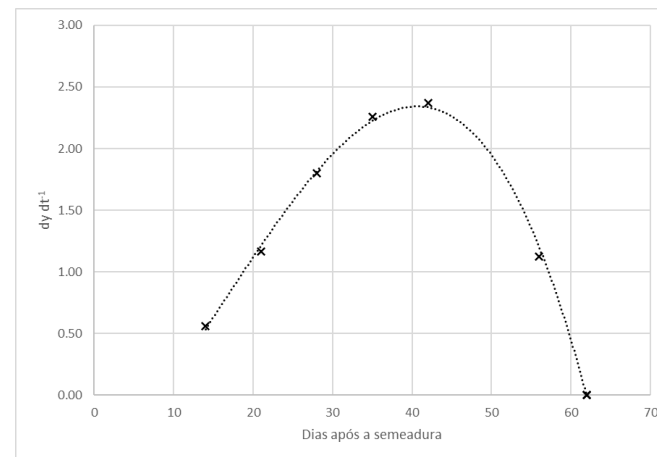
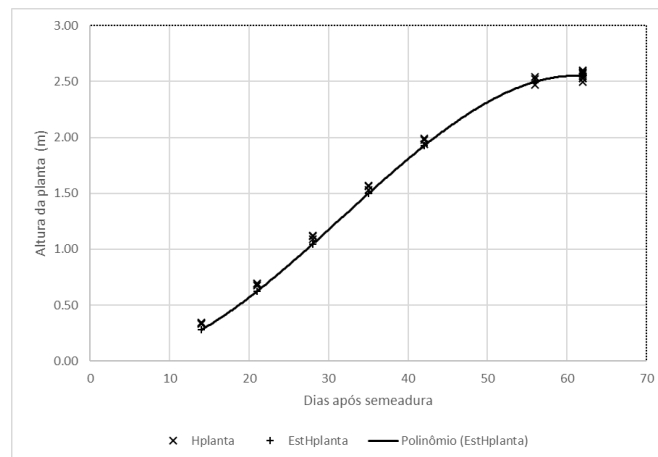
C PALHA 40.000 plantas ha⁻¹



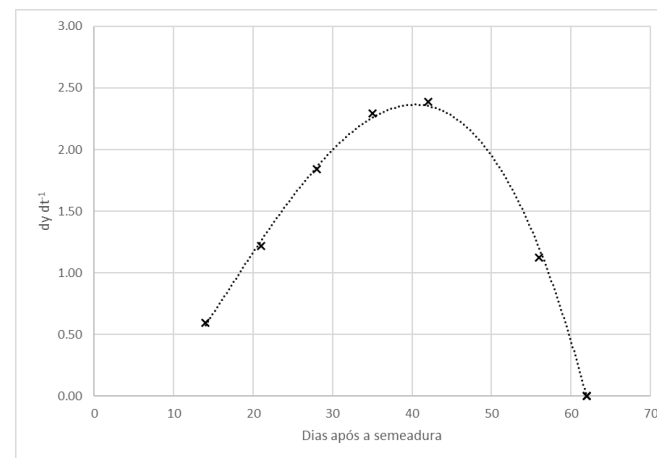
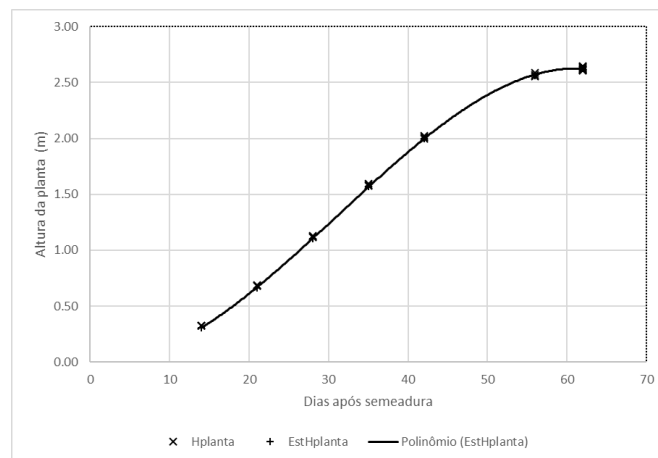
C PALHA 60.000 plantas ha⁻¹



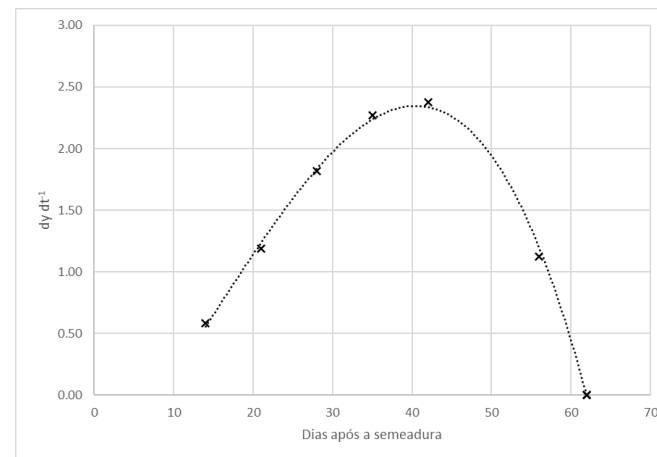
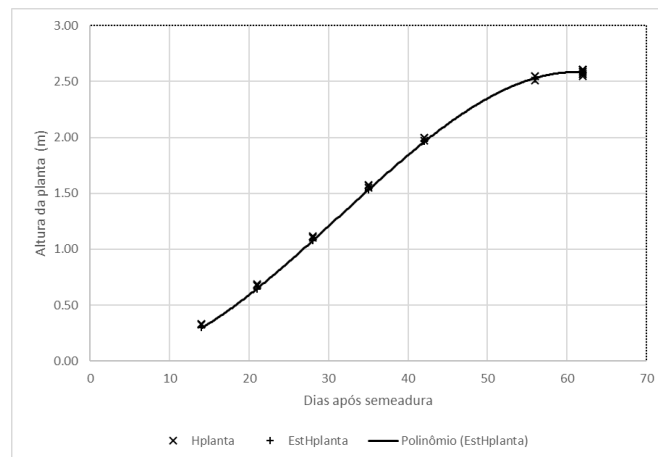
C PALHA 80.000 plantas ha⁻¹



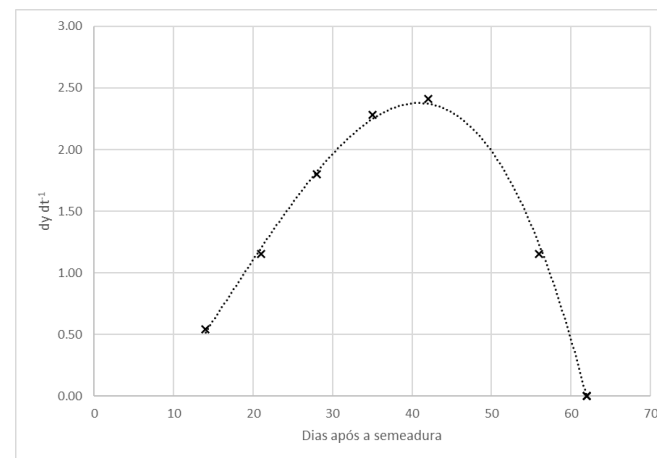
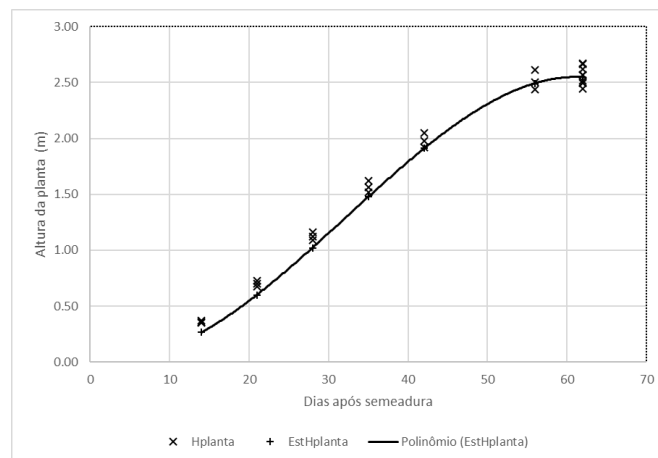
C PALHA 100.000 plantas ha⁻¹



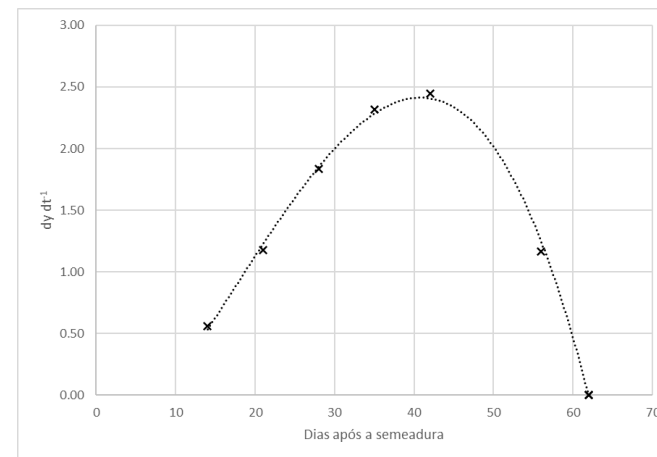
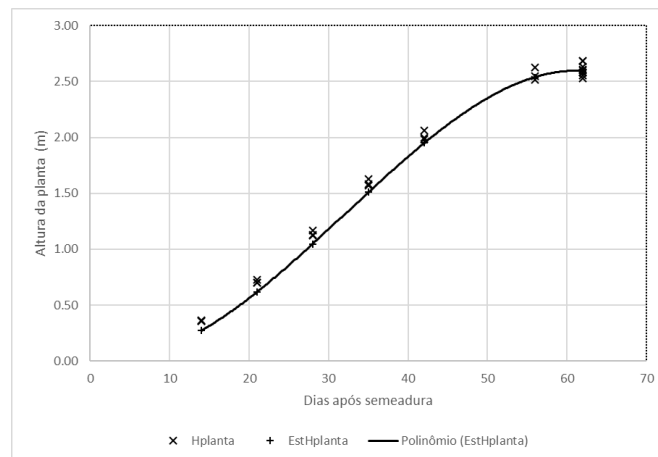
C PALHA 120.000 plantas ha⁻¹



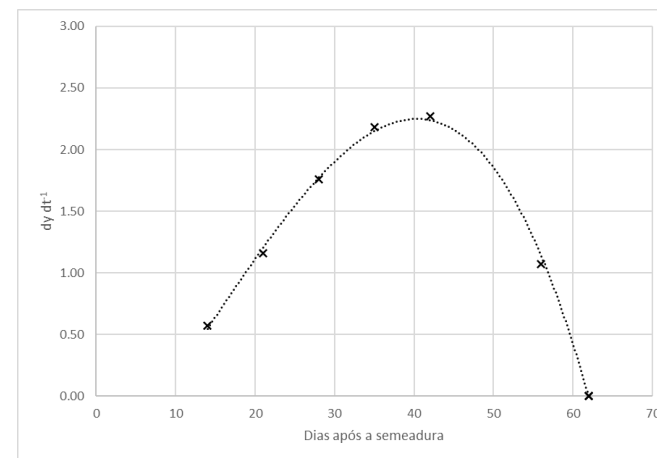
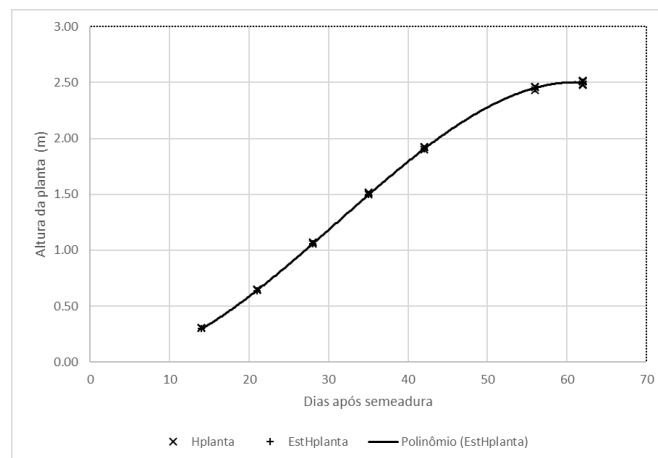
C SOLO NU 40.000 plantas ha⁻¹



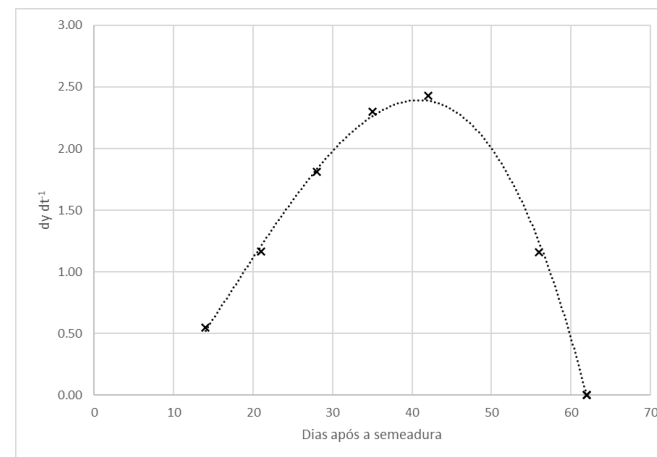
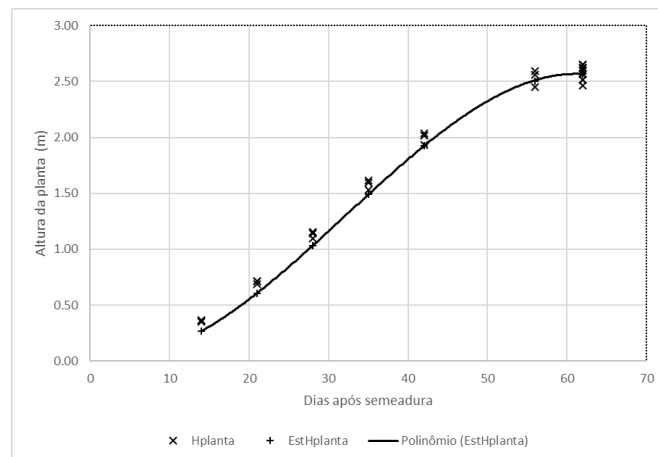
C SOLO NU 60.000 plantas ha⁻¹



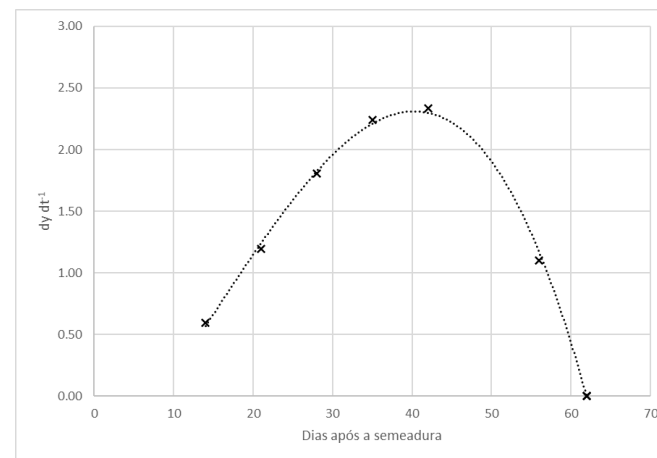
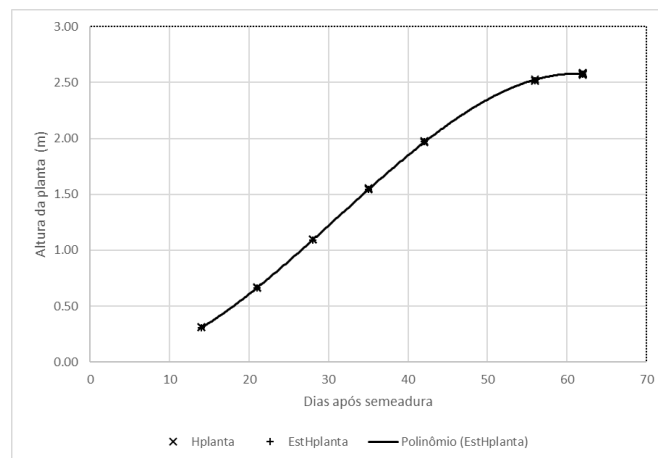
C SOLO NU 80.000 plantas ha⁻¹



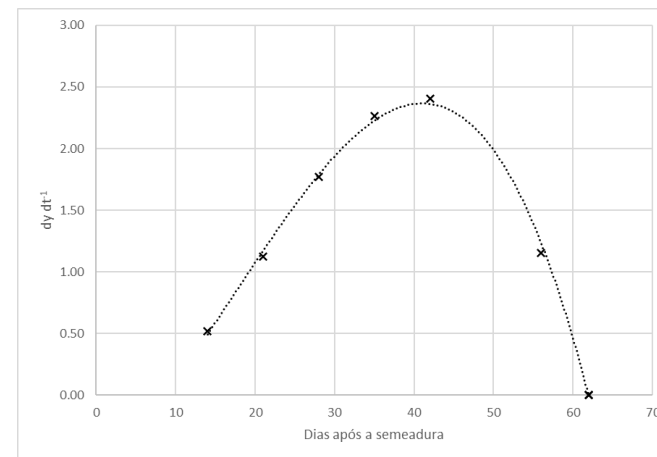
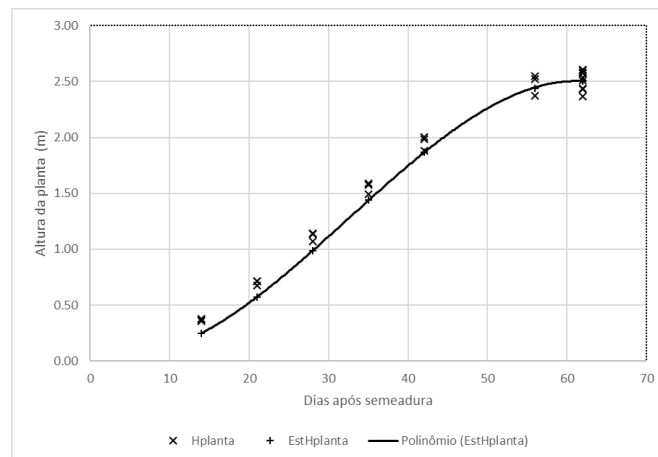
C SOLO NU 100.000 plantas ha⁻¹



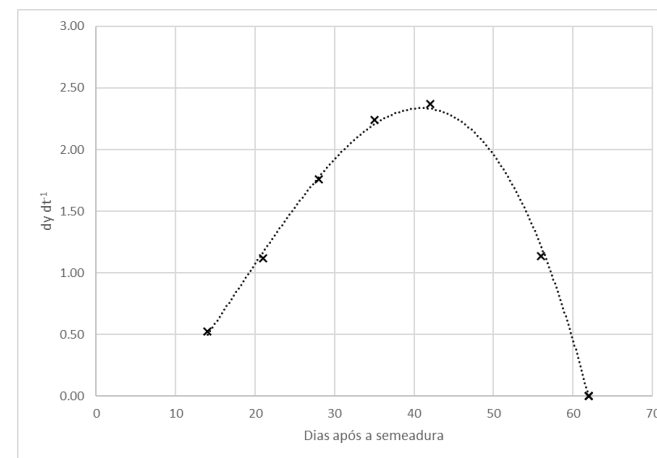
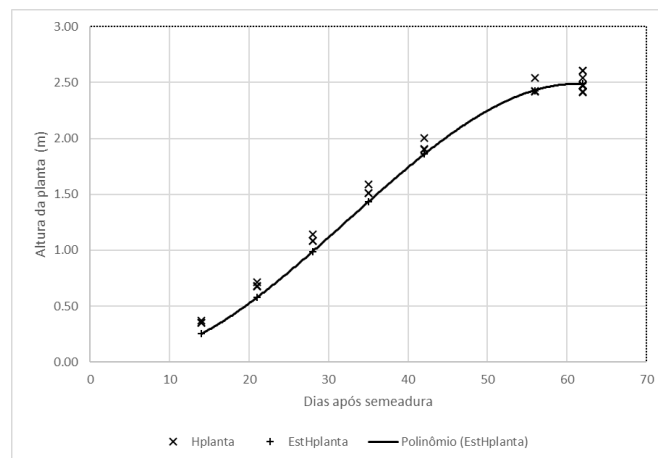
C SOLO NU 120.000 plantas ha⁻¹



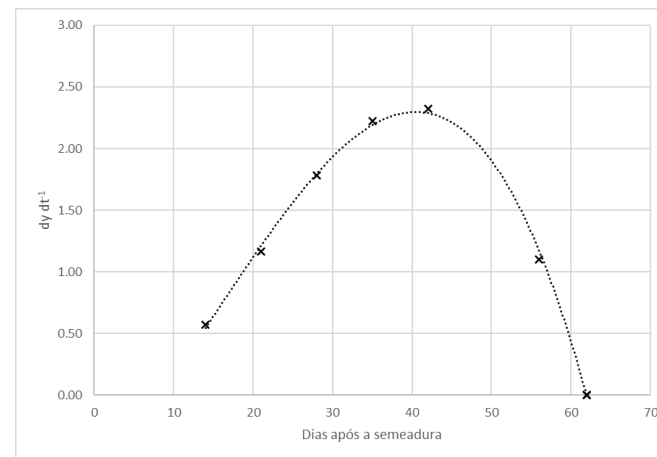
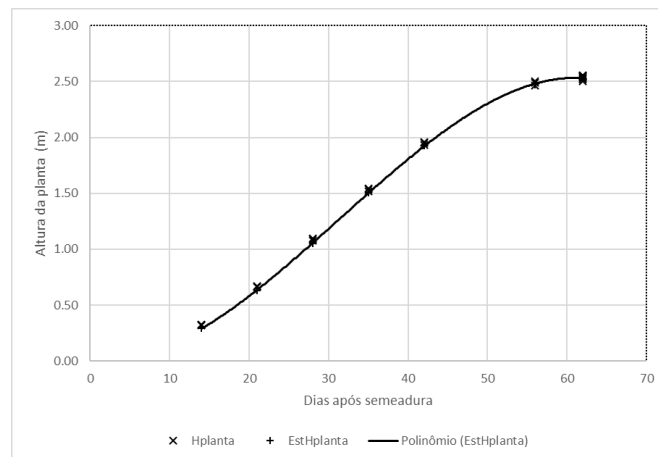
C POUSIO 40.000 plantas ha⁻¹



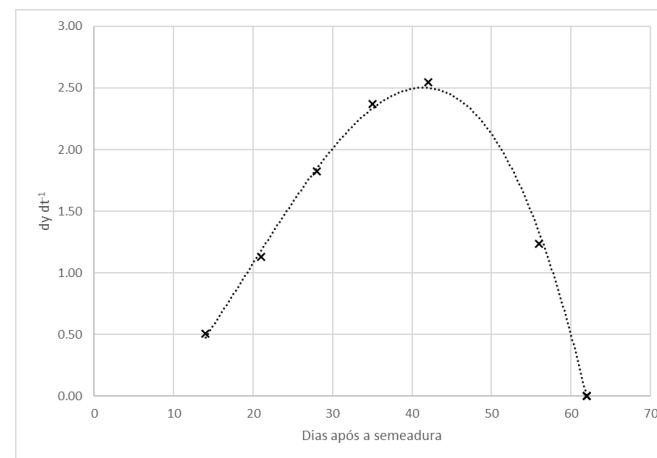
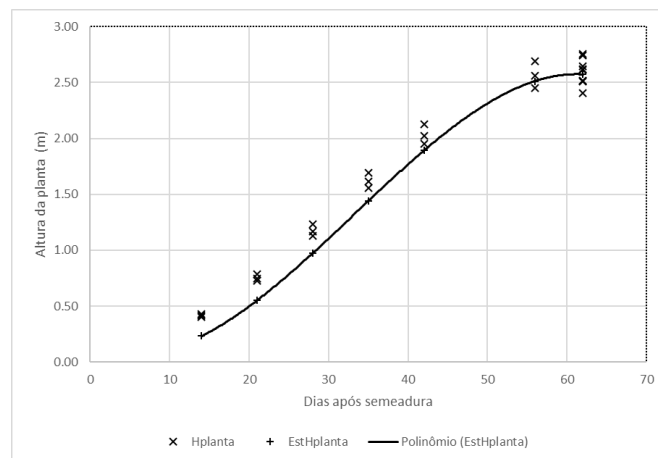
C POUSIO 60.000 plantas ha⁻¹



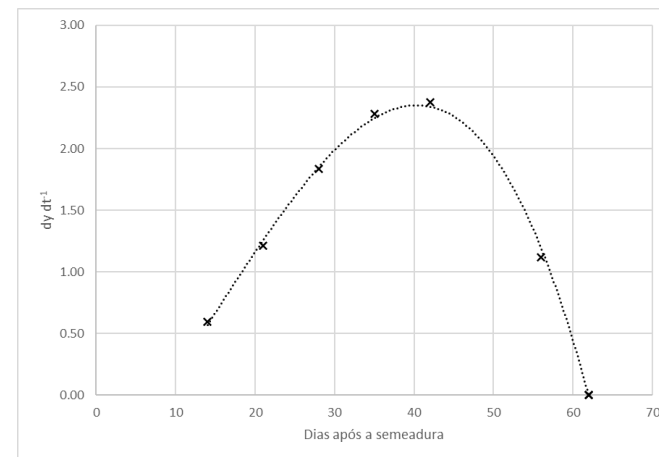
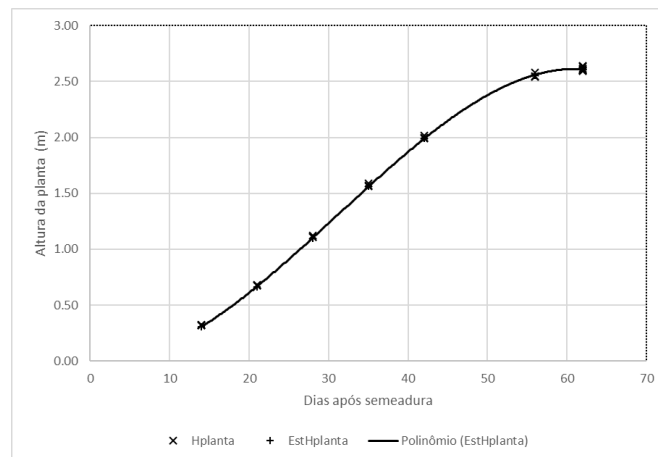
C POUSIO 80.000 plantas ha⁻¹



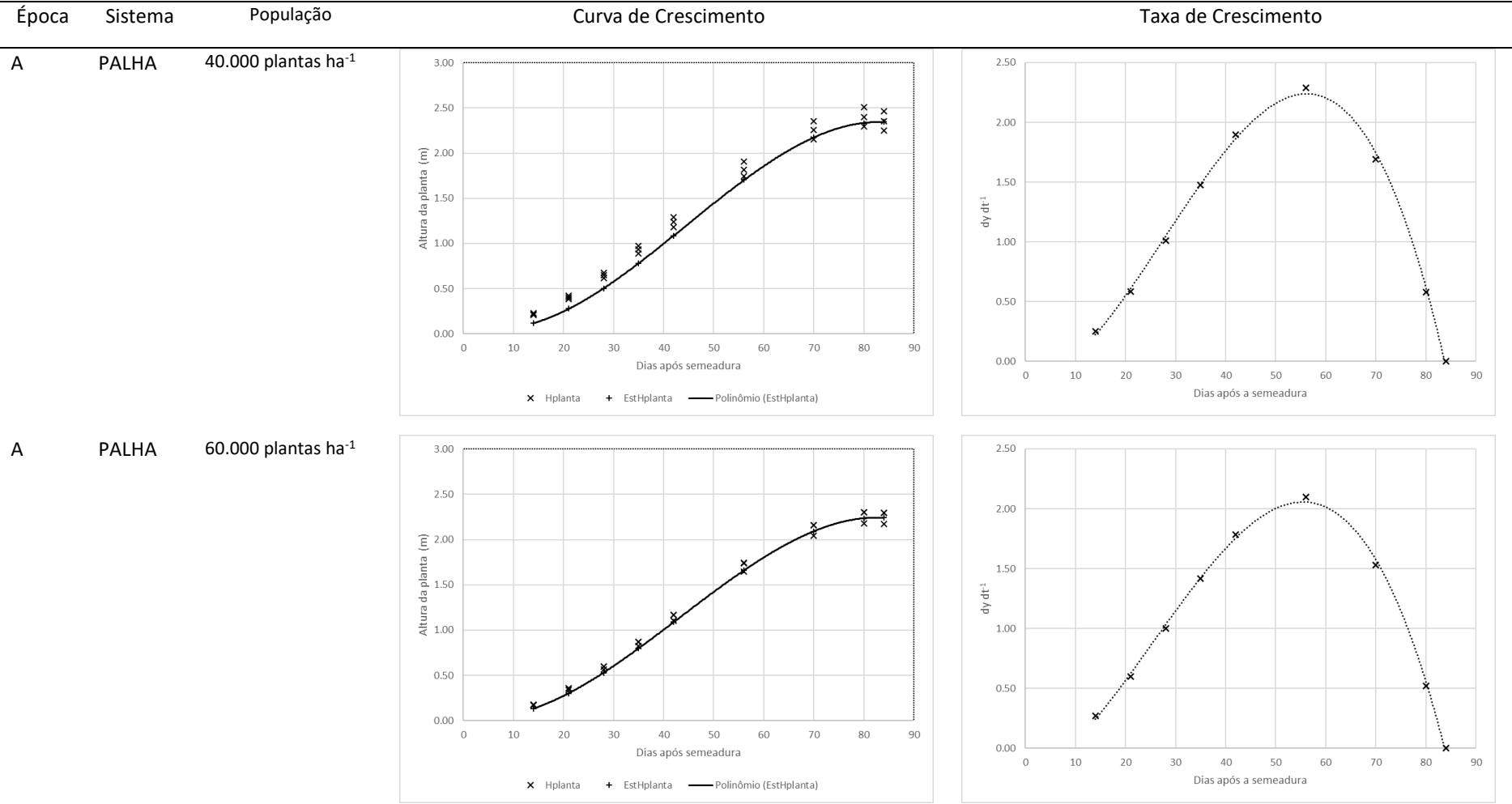
C POUSIO 100.000 plantas ha⁻¹



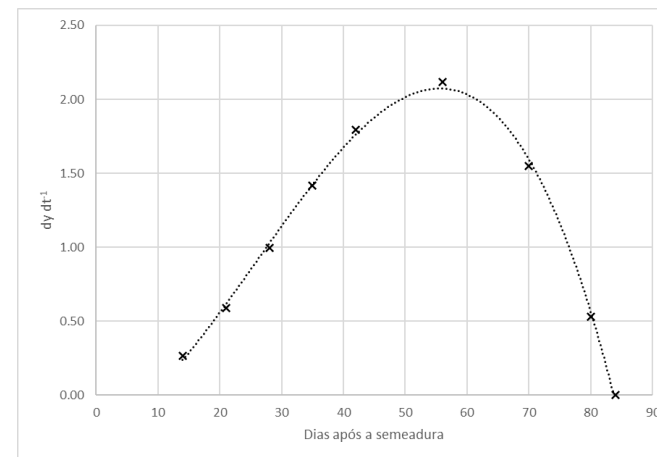
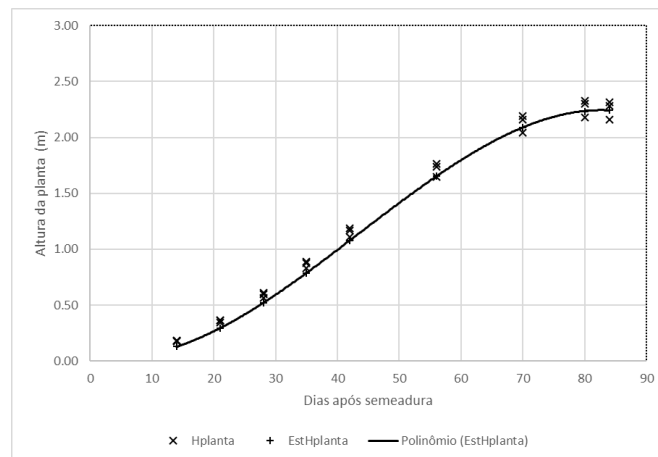
C POUSIO 120.000 plantas ha⁻¹



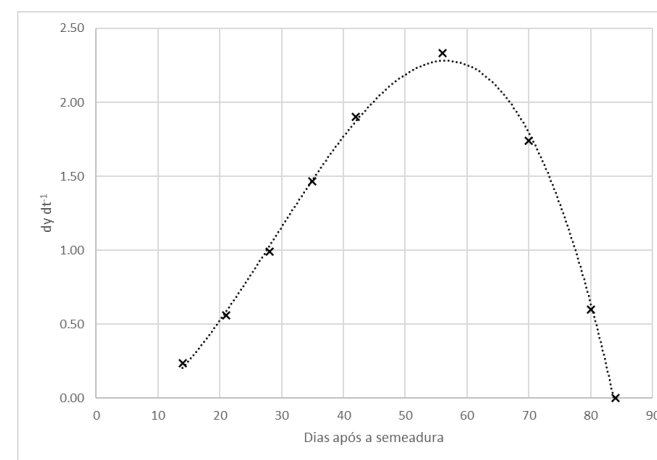
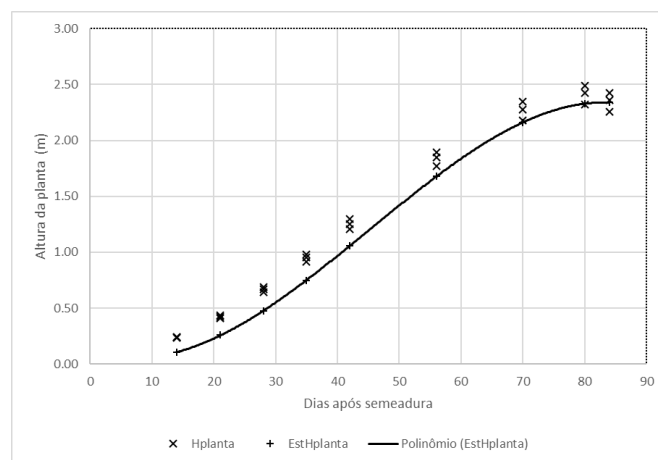
APÊNDICE C – CURVAS AJUSTADAS DO MODELO SENOIDAL DE CRESCIMENTO
DAS PLANTAS DE MILHO PARA A SAFRA 2015/2016



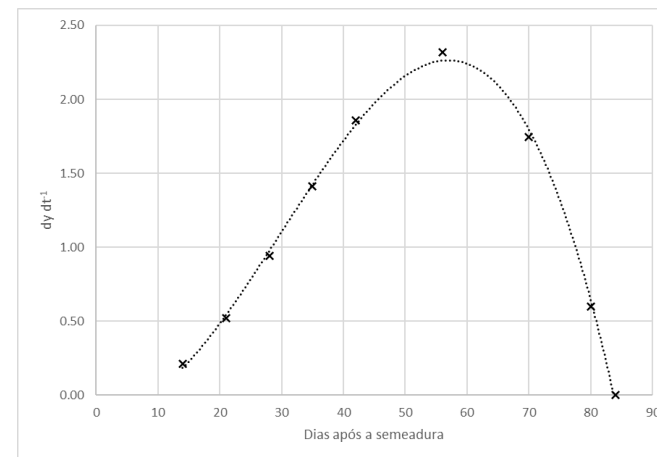
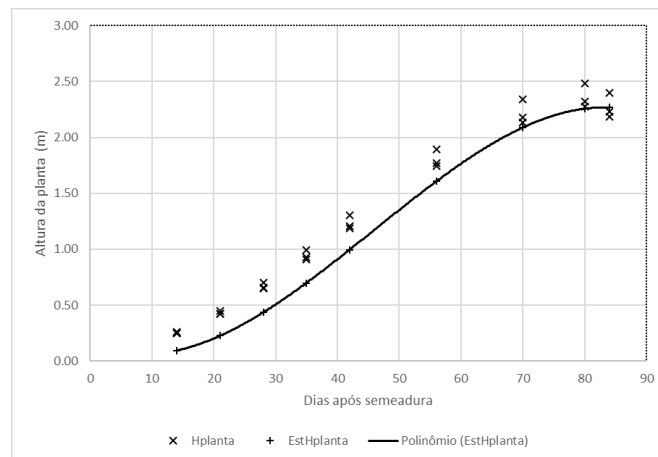
A PALHA 80.000 plantas ha⁻¹



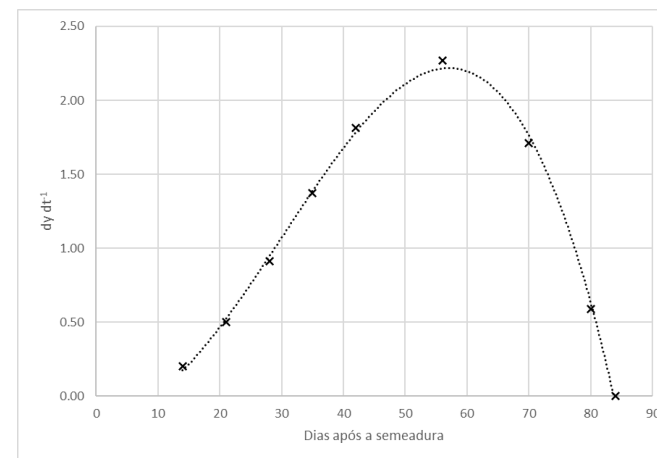
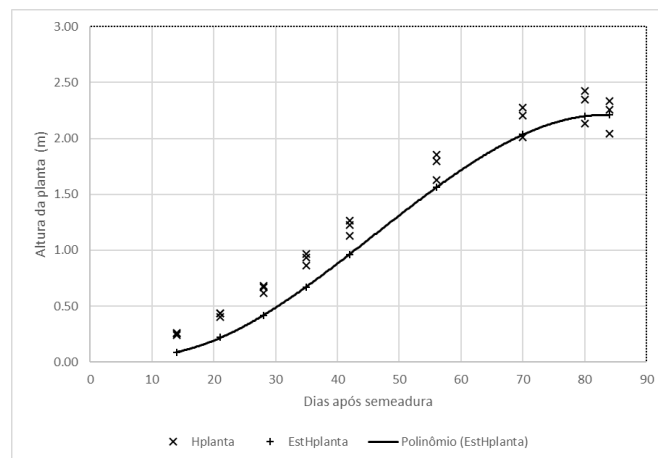
A PALHA 100.000 plantas ha⁻¹



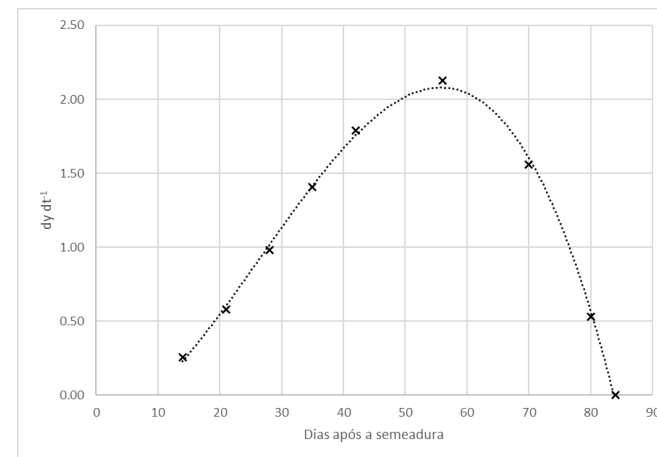
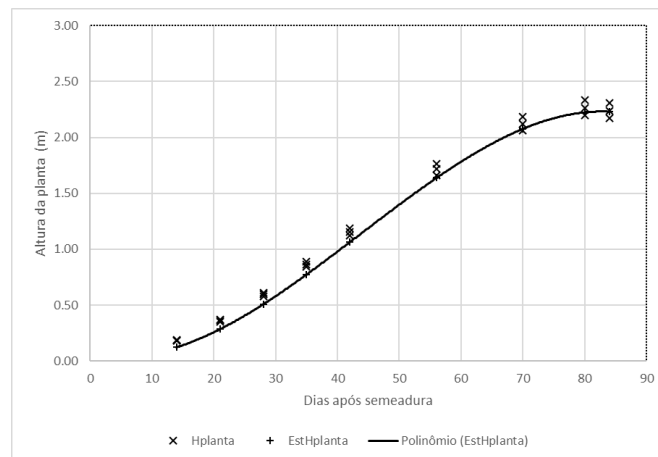
A PALHA 120.000 plantas ha⁻¹



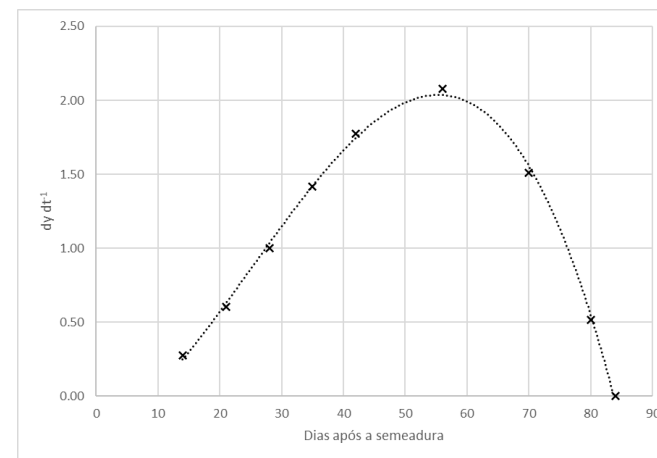
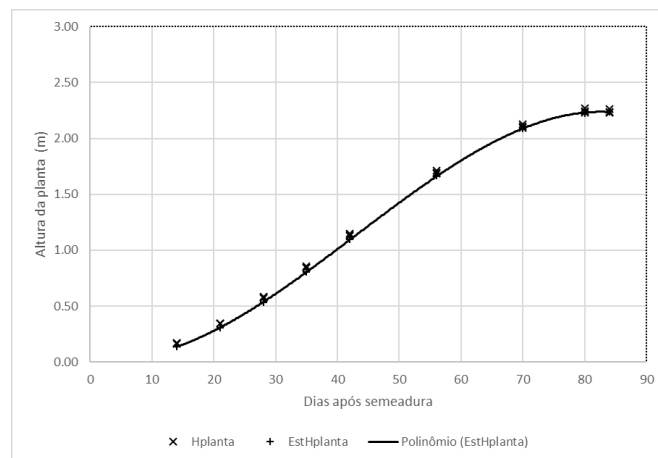
A SOLO NU 40.000 plantas ha⁻¹



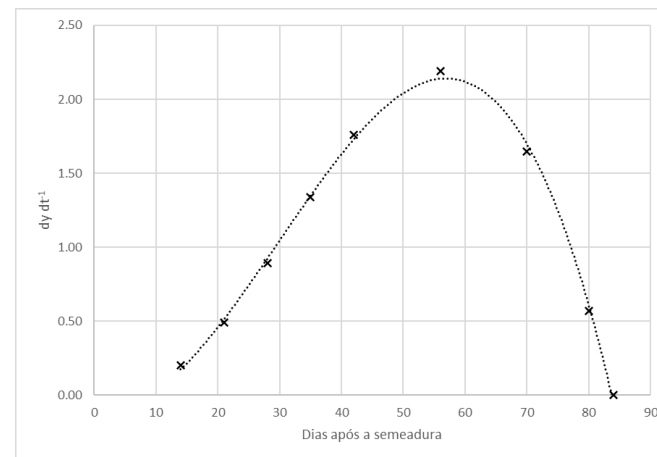
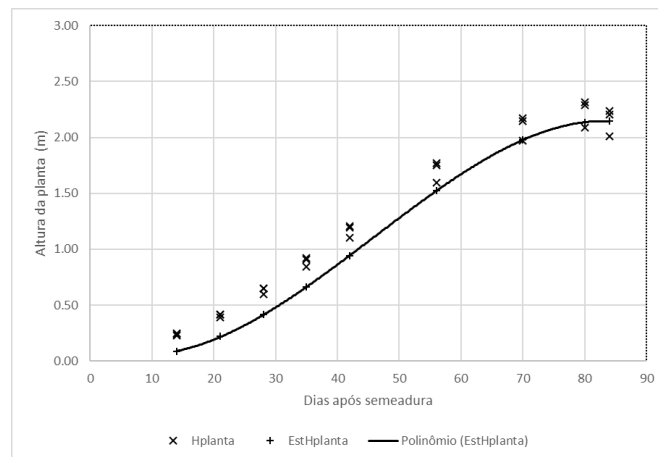
A SOLO NU 60.000 plantas ha⁻¹



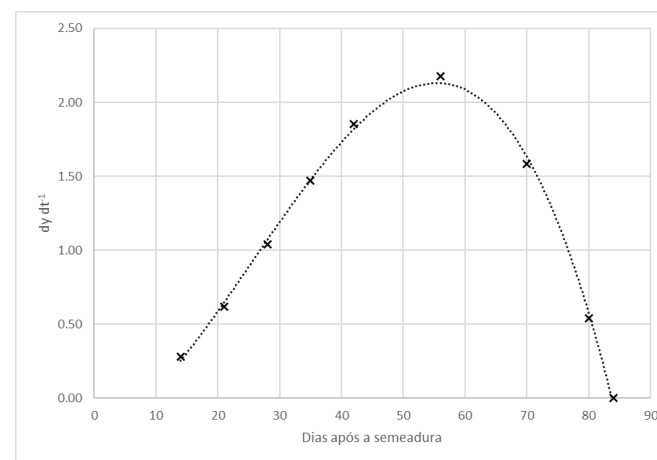
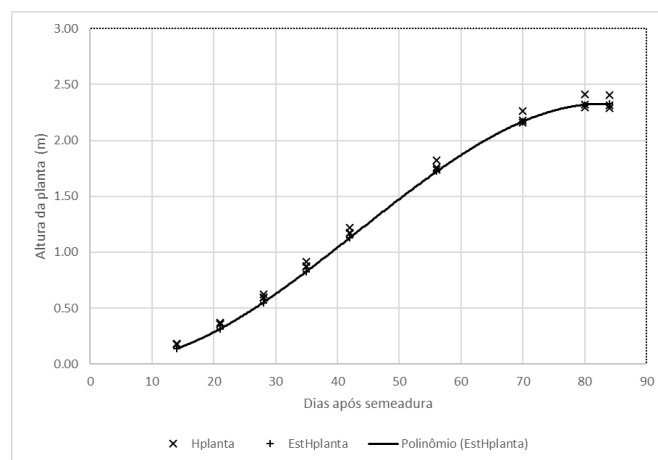
A SOLO NU 80.000 plantas ha⁻¹



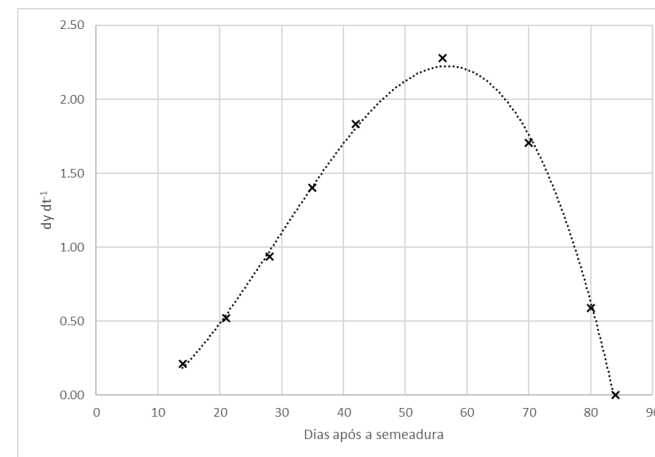
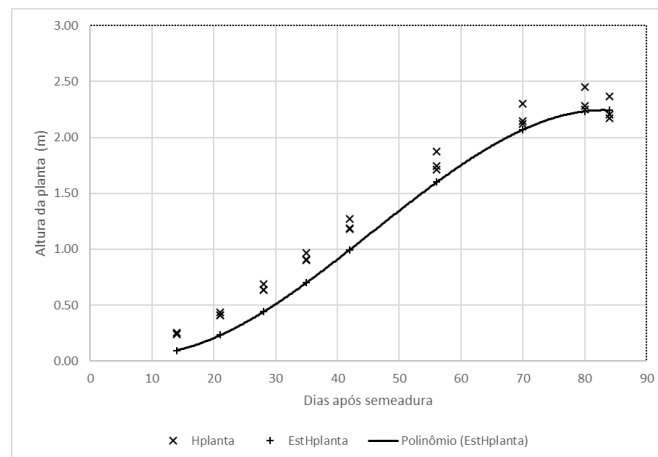
A SOLO NU 100.000 plantas ha⁻¹



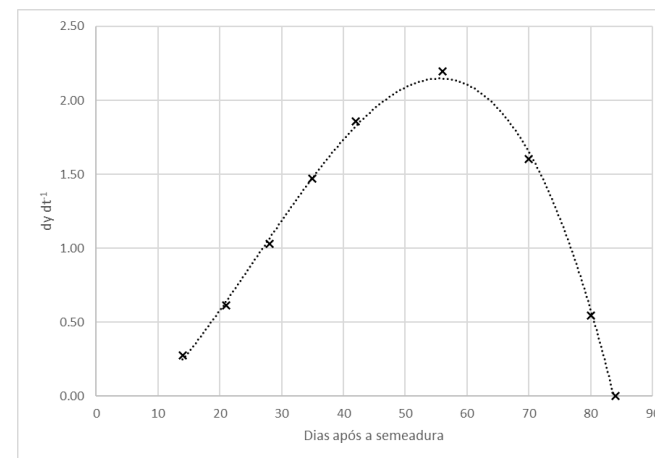
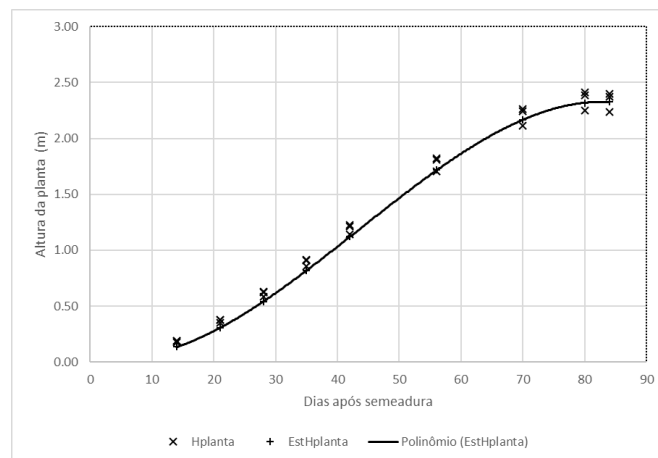
A SOLO NU 120.000 plantas ha⁻¹



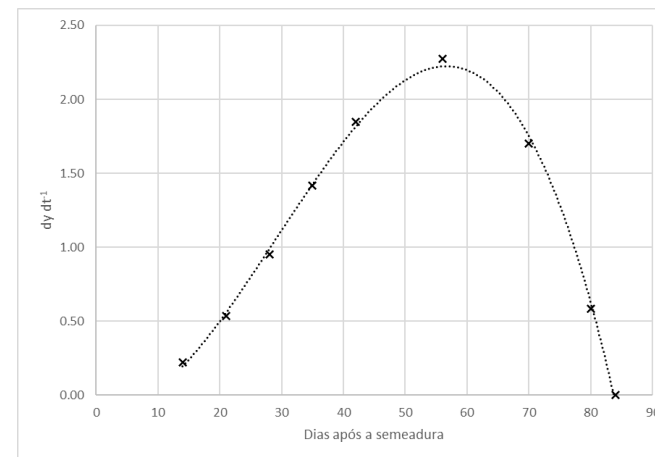
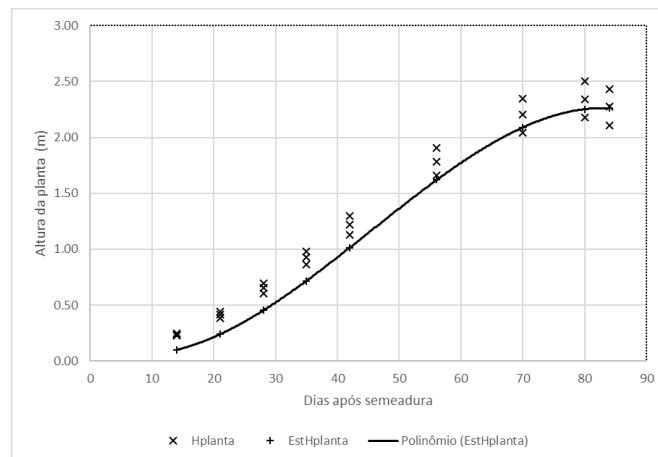
A POUSIO 40.000 plantas ha⁻¹



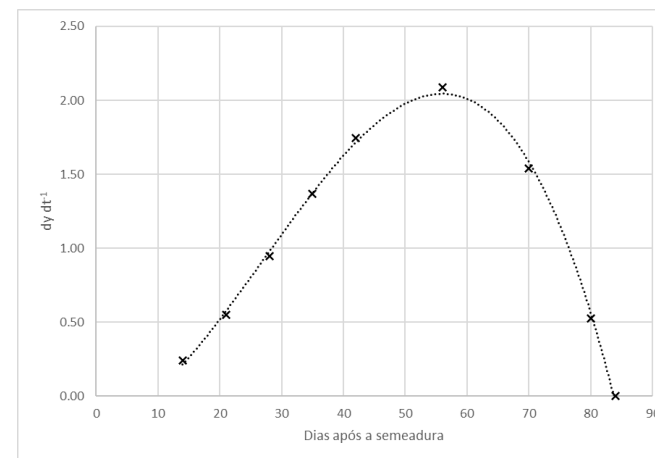
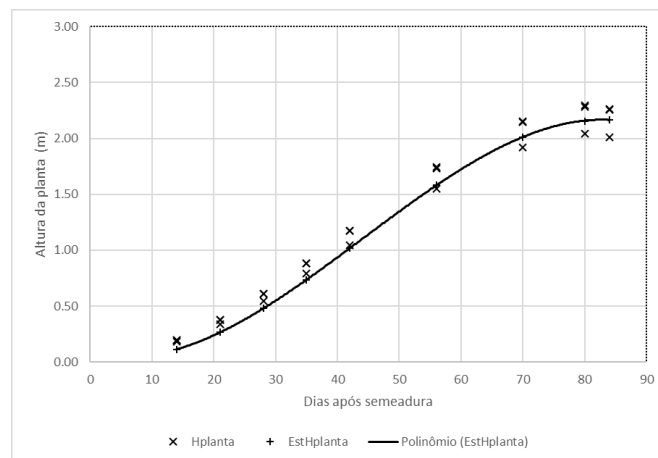
A POUSIO 60.000 plantas ha⁻¹



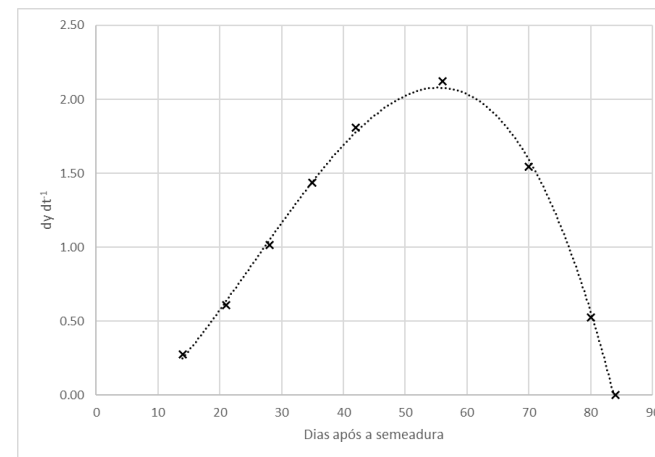
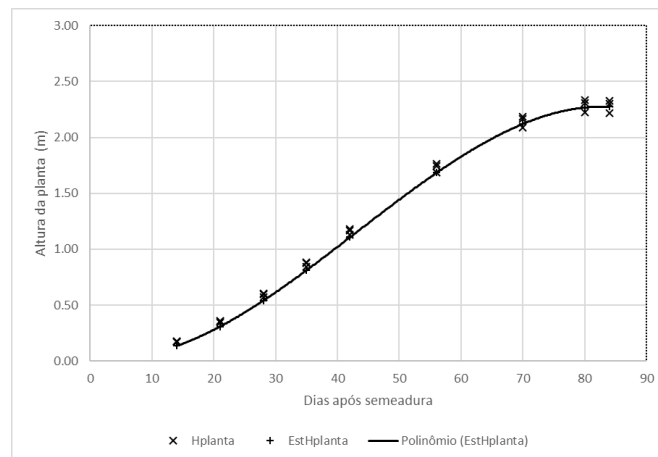
A POUSIO 80.000 plantas ha⁻¹



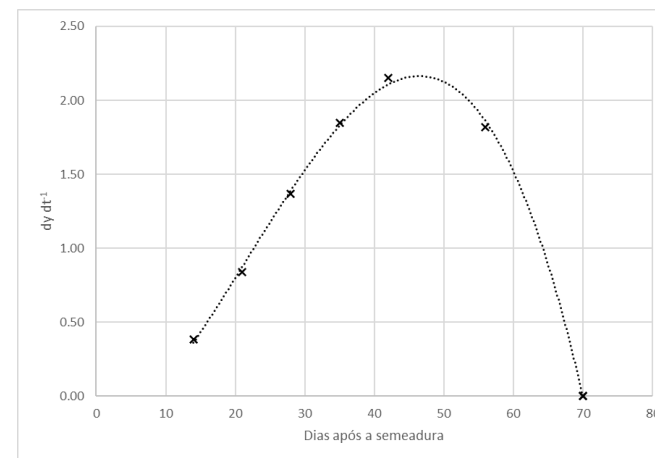
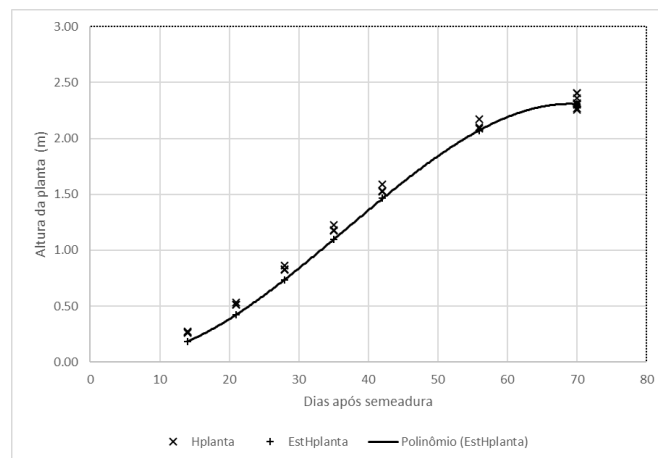
A POUSIO 100.000 plantas ha⁻¹



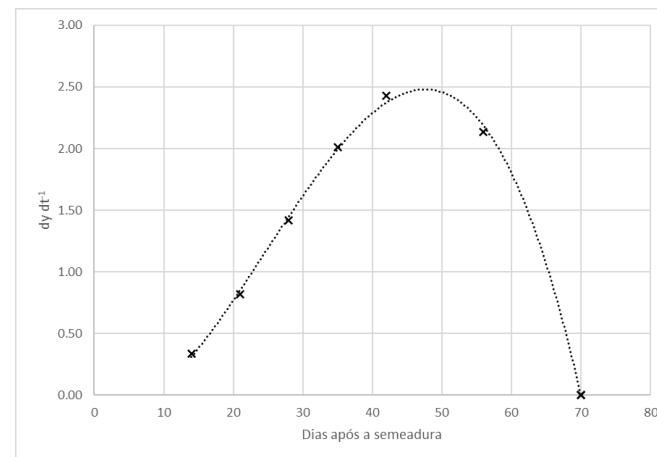
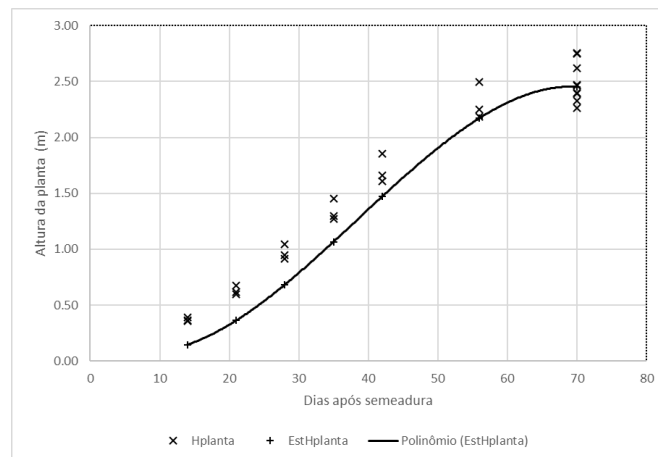
A POUSIO 120.000 plantas ha⁻¹



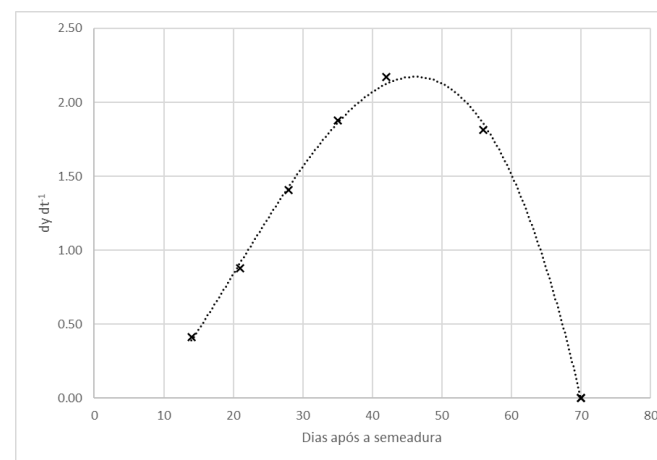
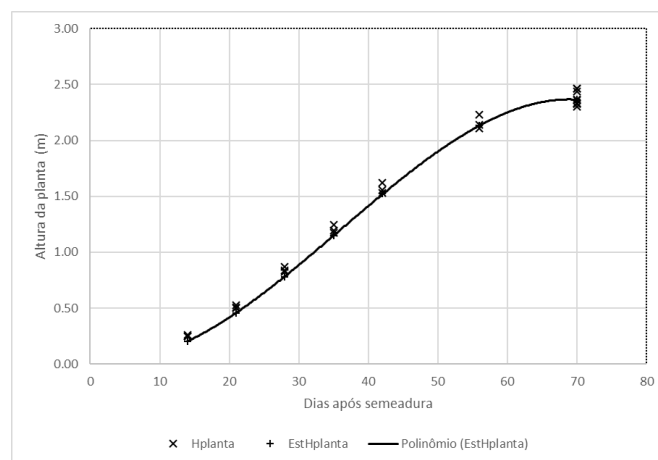
B PALHA 40.000 plantas ha⁻¹



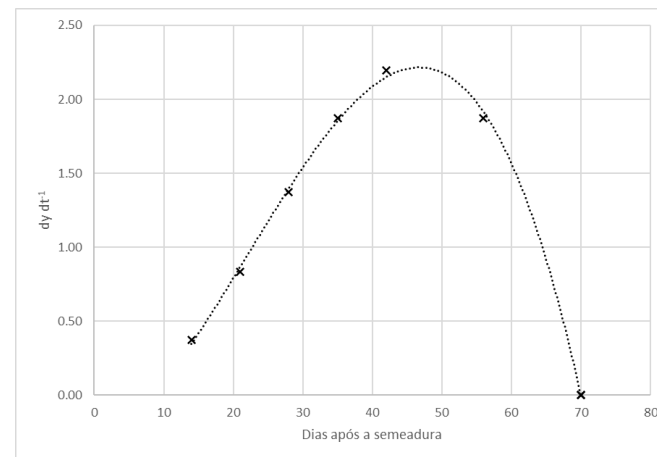
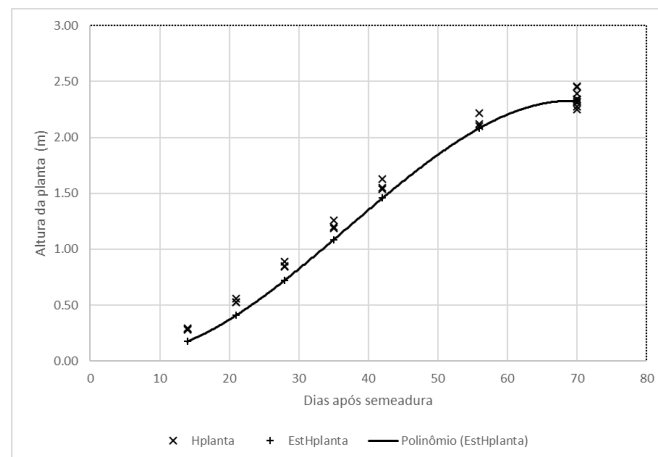
B PALHA 60.000 plantas ha⁻¹



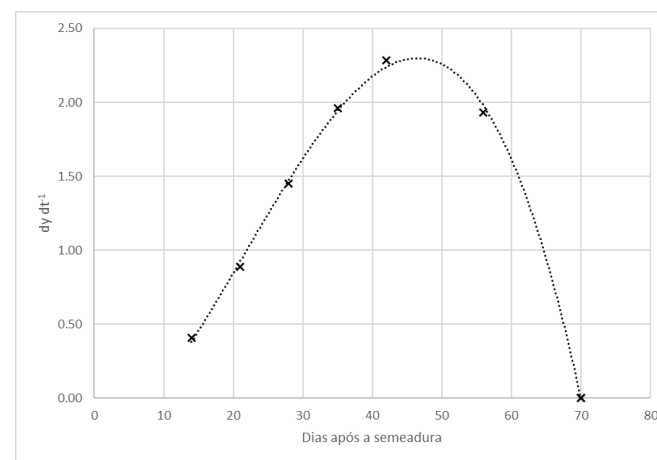
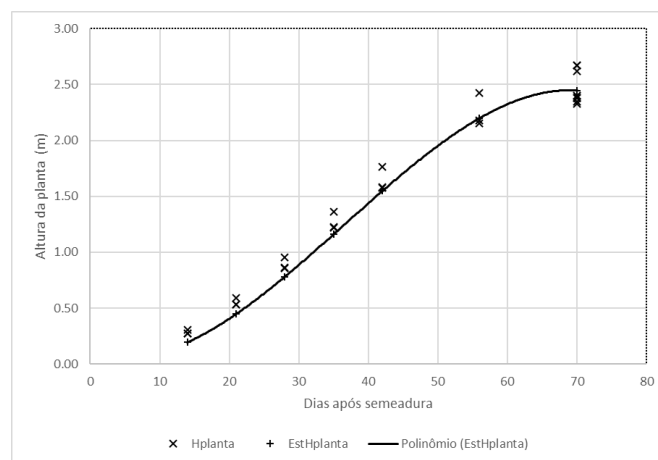
B PALHA 80.000 plantas ha⁻¹



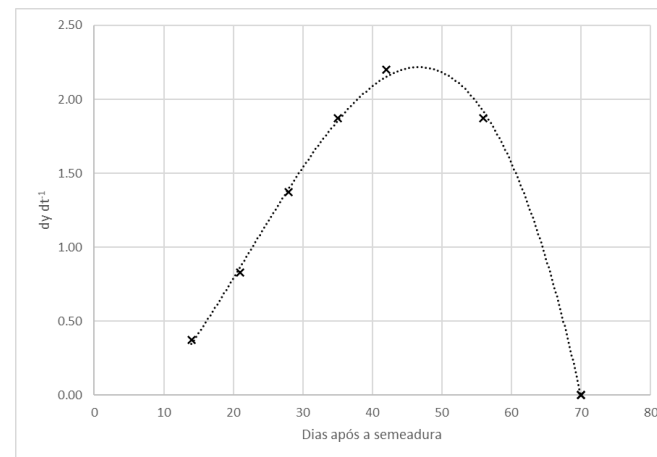
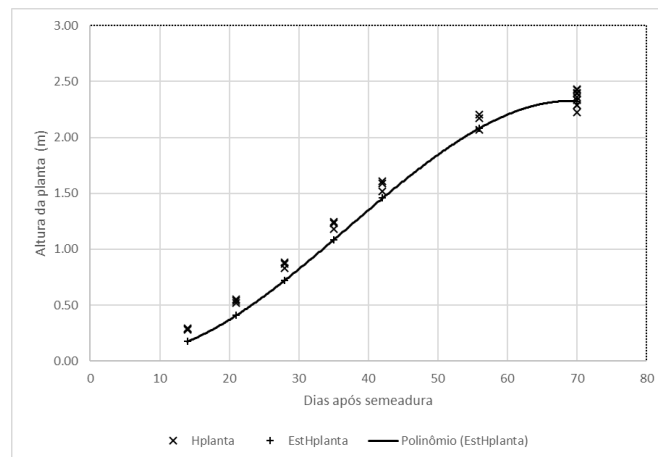
B PALHA 100.000 plantas ha⁻¹



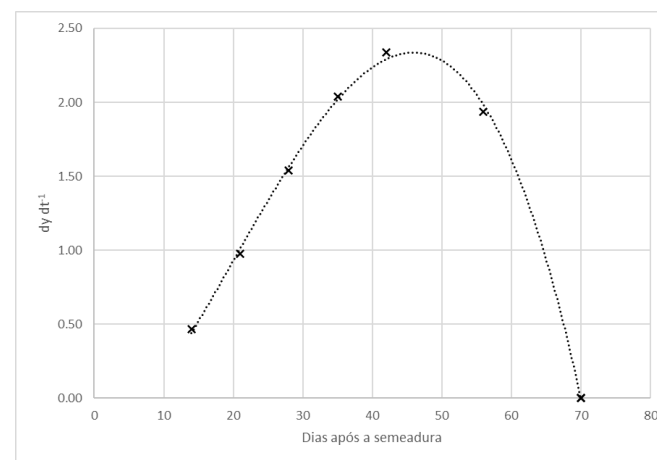
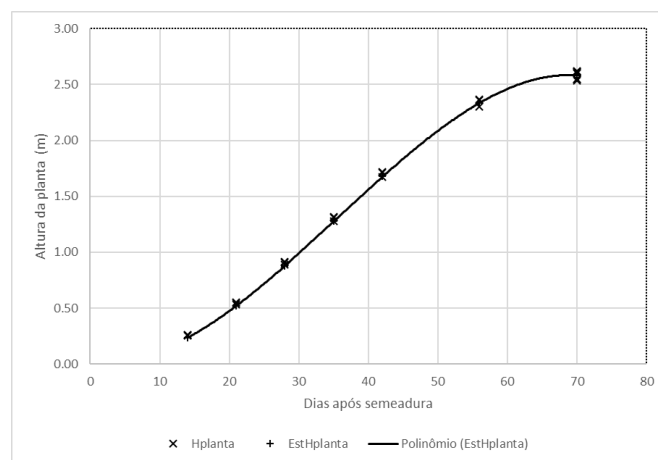
B PALHA 120.000 plantas ha⁻¹



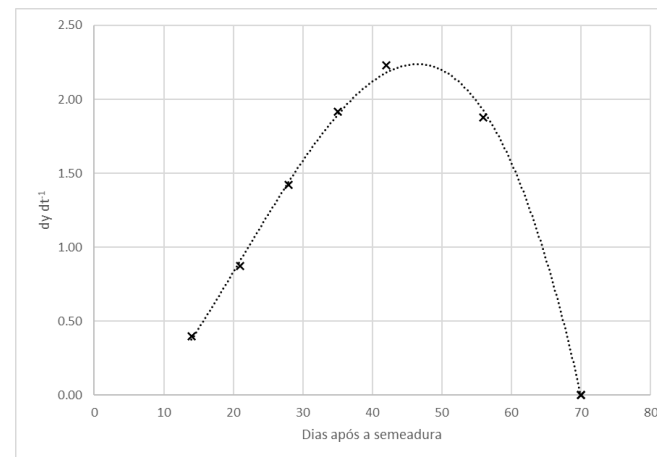
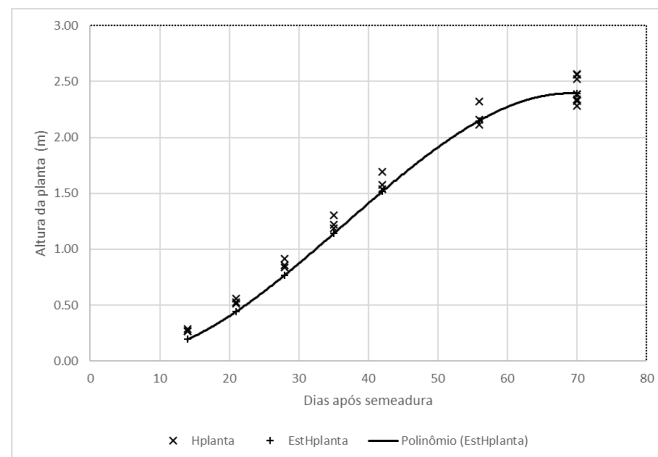
B SOLO NU 40.000 plantas ha⁻¹



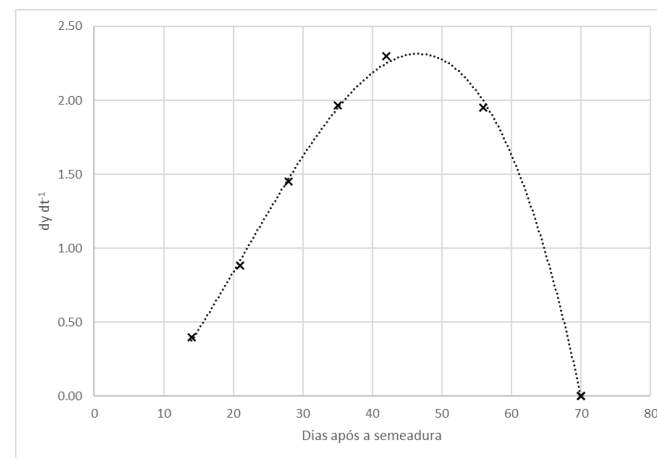
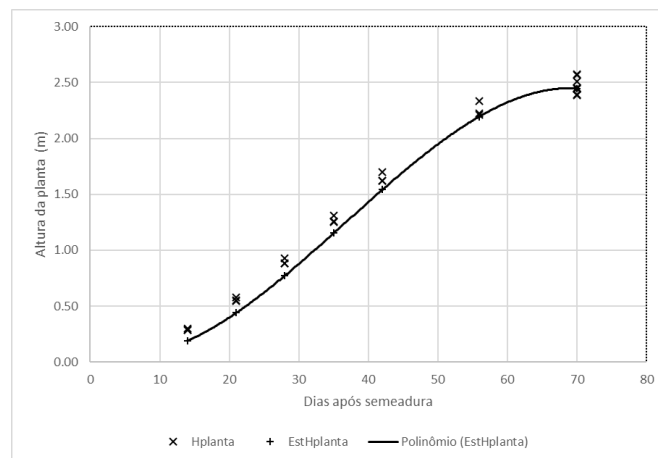
B SOLO NU 60.000 plantas ha⁻¹



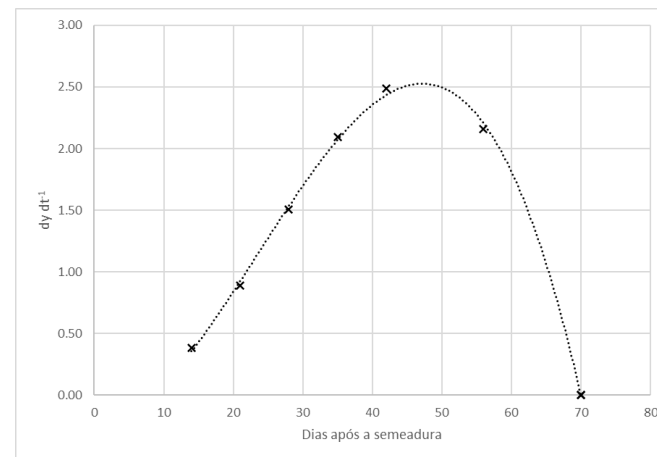
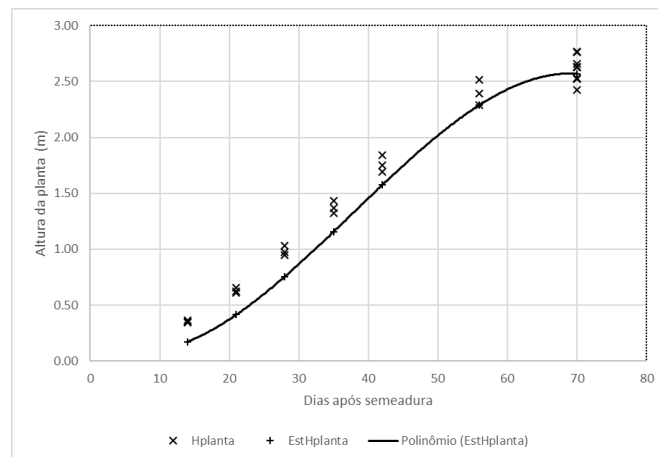
B SOLO NU 80.000 plantas ha⁻¹



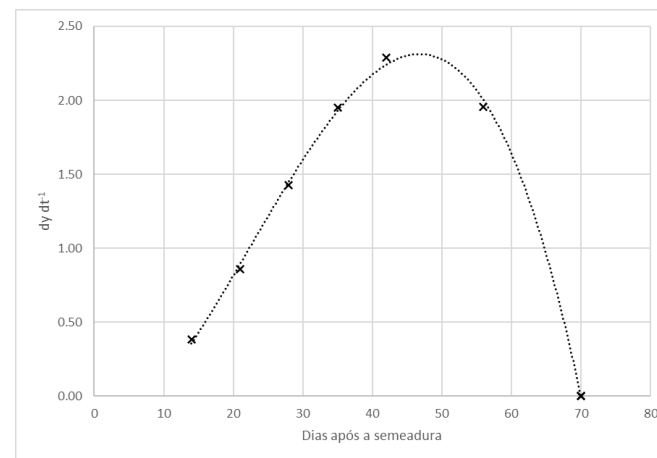
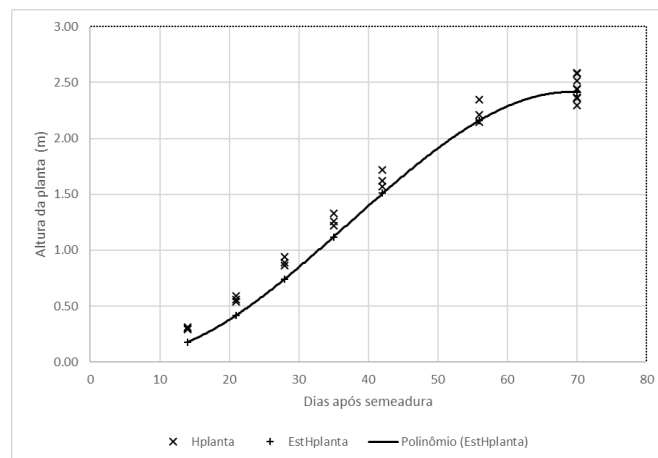
B SOLO NU 100.000 plantas ha⁻¹



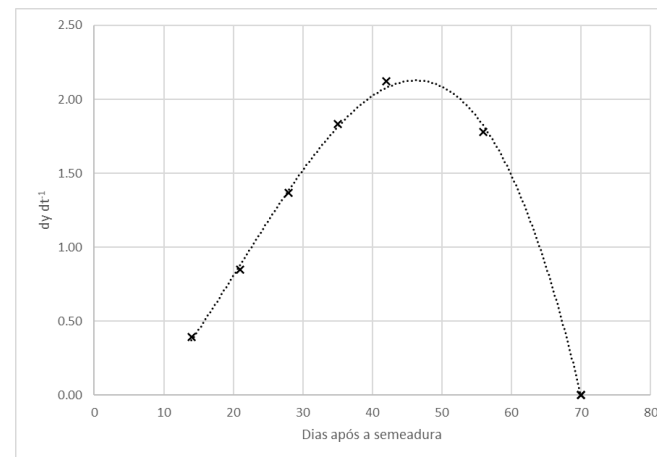
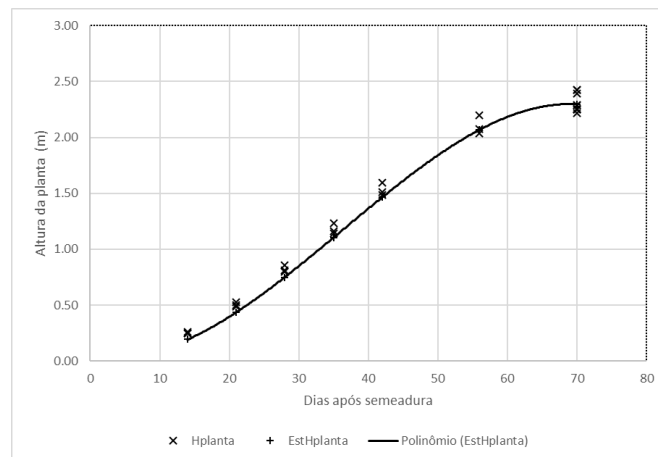
B SOLO NU 120.000 plantas ha⁻¹



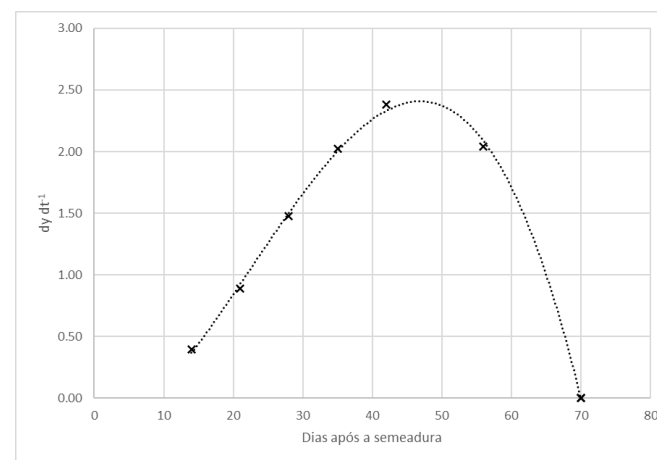
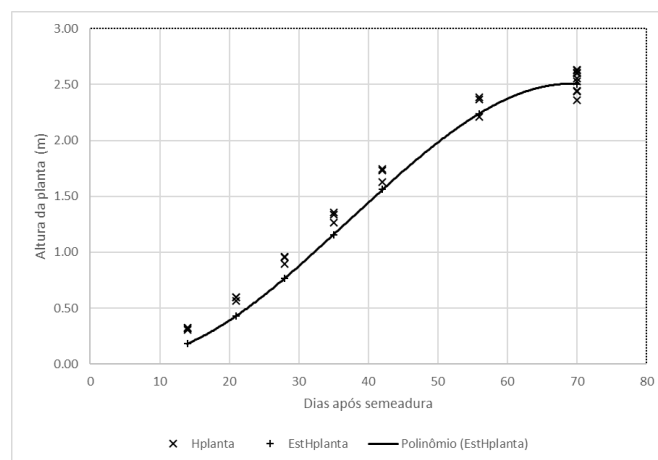
B POUSIO 40.000 plantas ha⁻¹



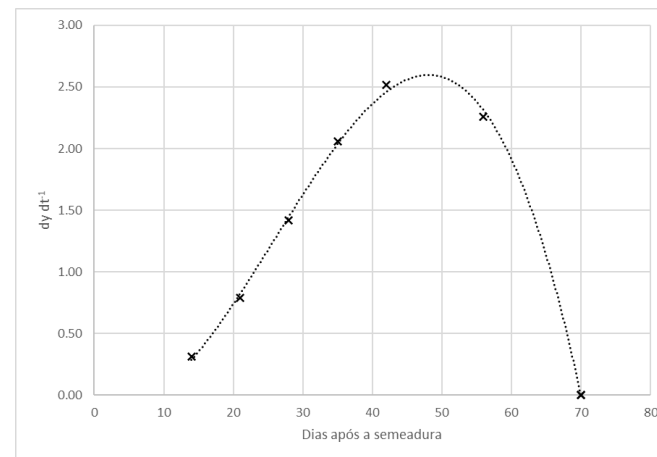
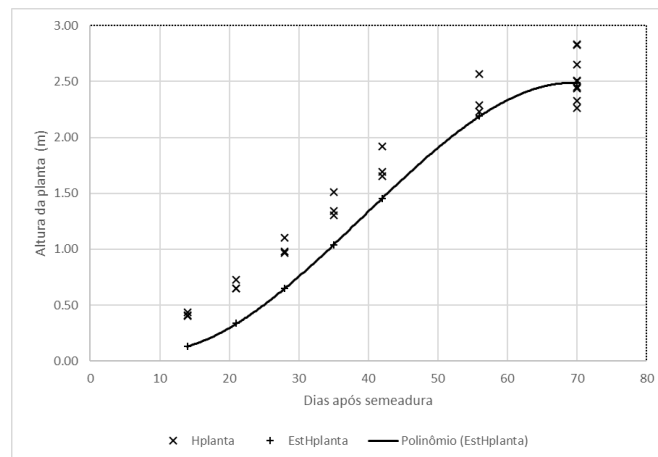
B POUSIO 60.000 plantas ha⁻¹



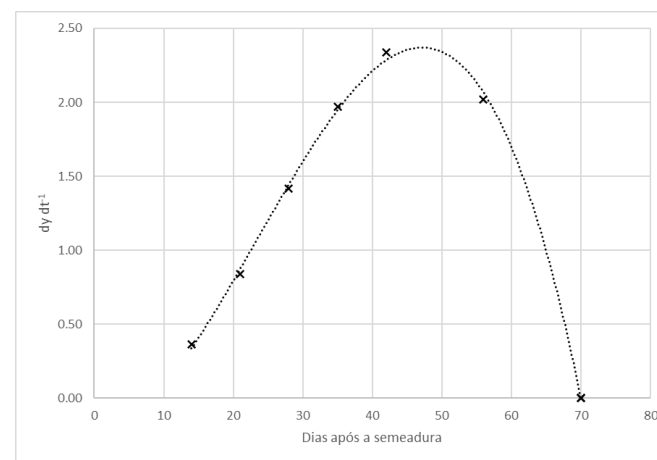
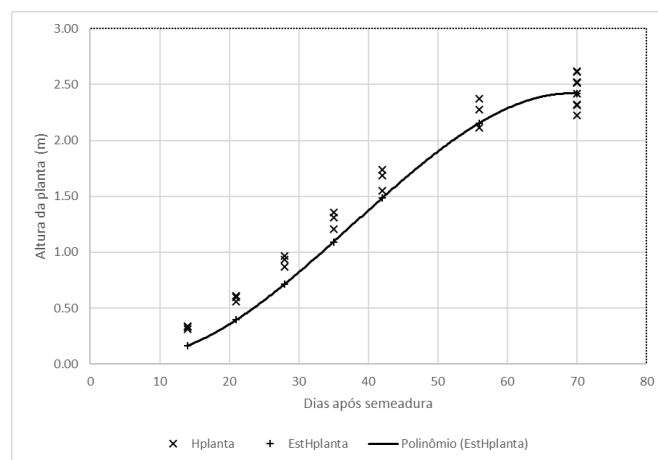
B POUSIO 80.000 plantas ha⁻¹



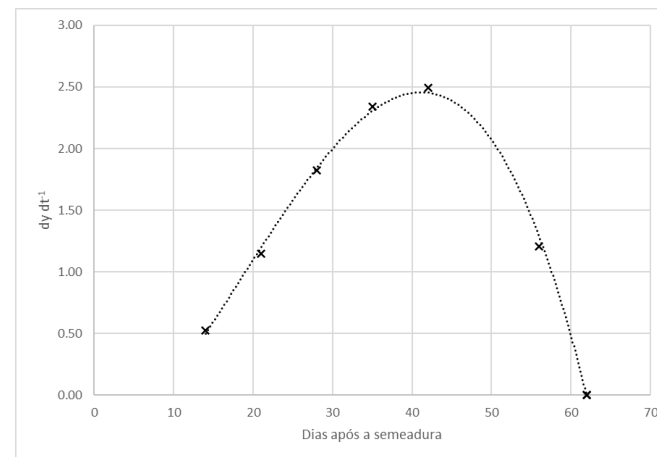
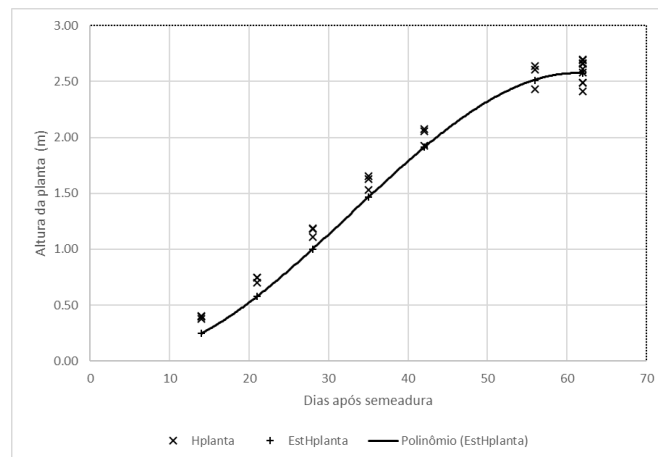
B POUSIO 100.000 plantas ha⁻¹



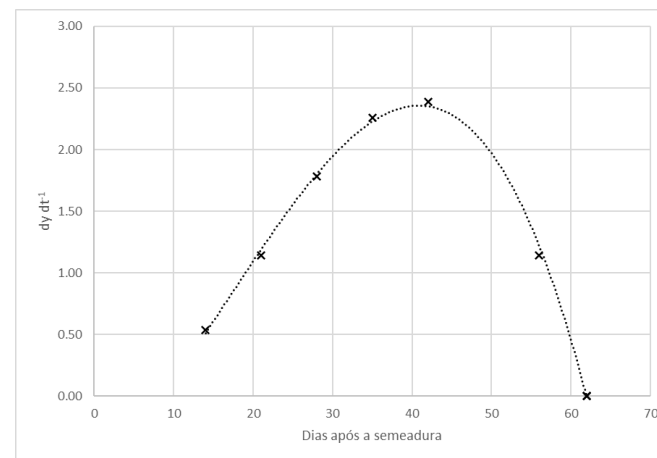
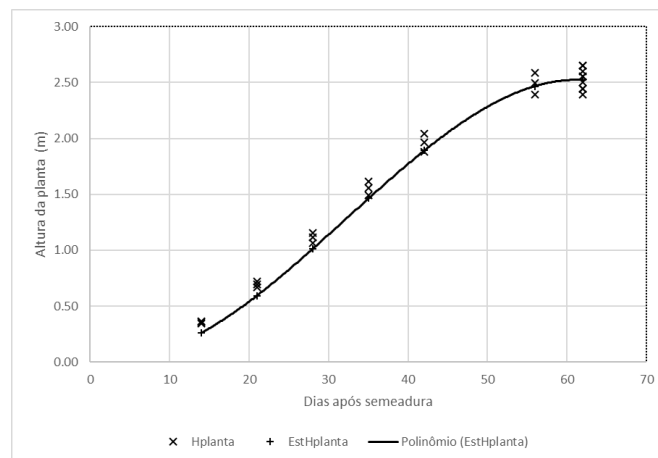
B POUSIO 120.000 plantas ha⁻¹



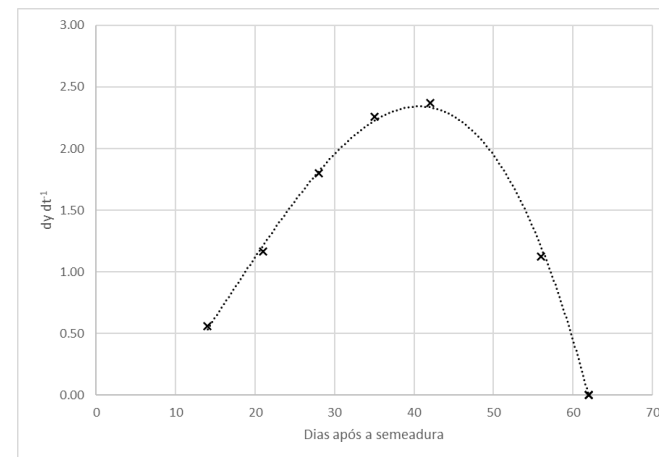
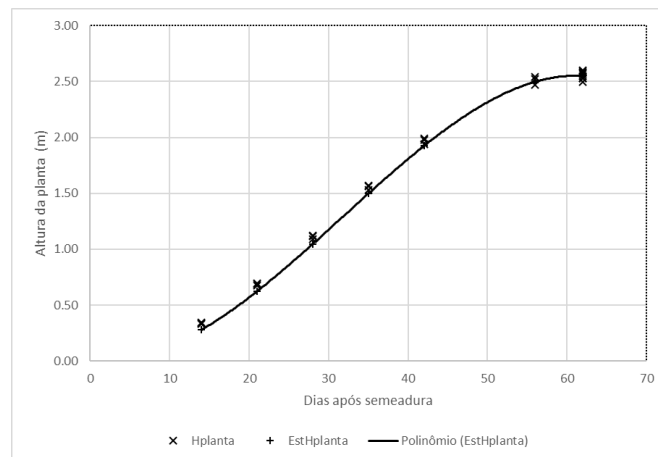
C PALHA 40.000 plantas ha⁻¹



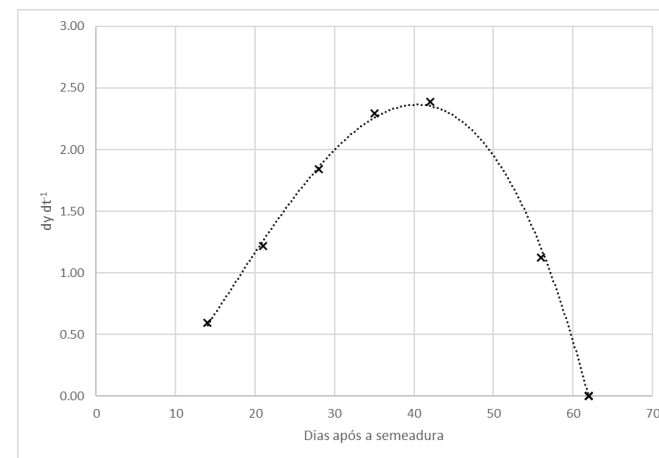
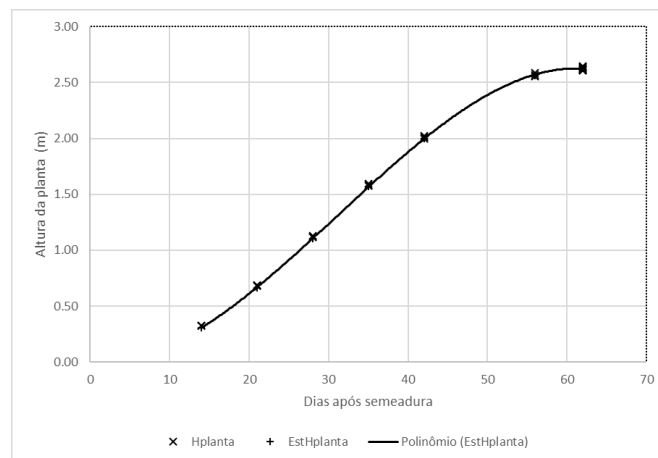
C PALHA 60.000 plantas ha⁻¹



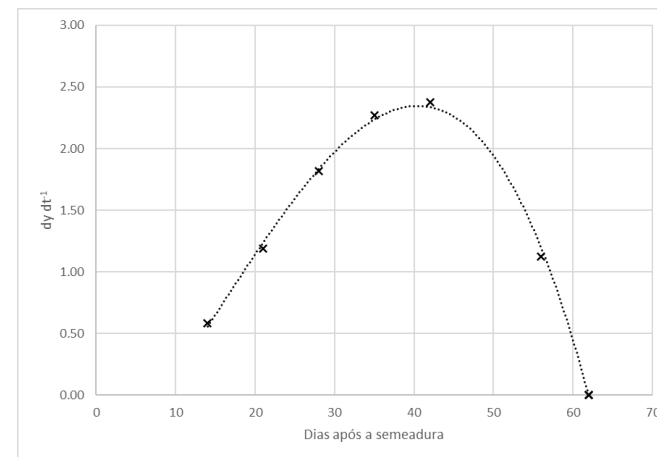
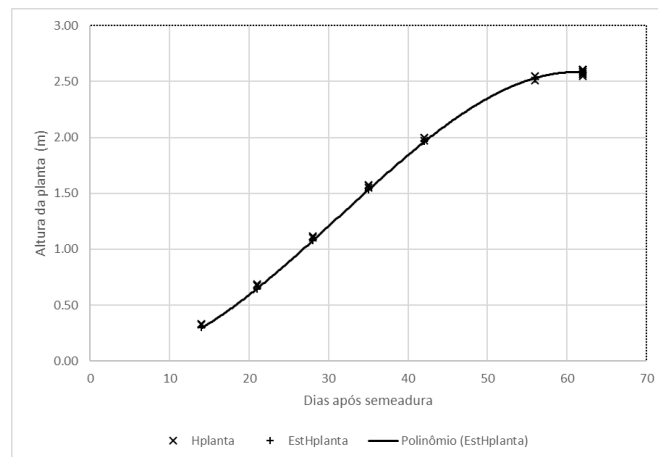
C PALHA 80.000 plantas ha⁻¹



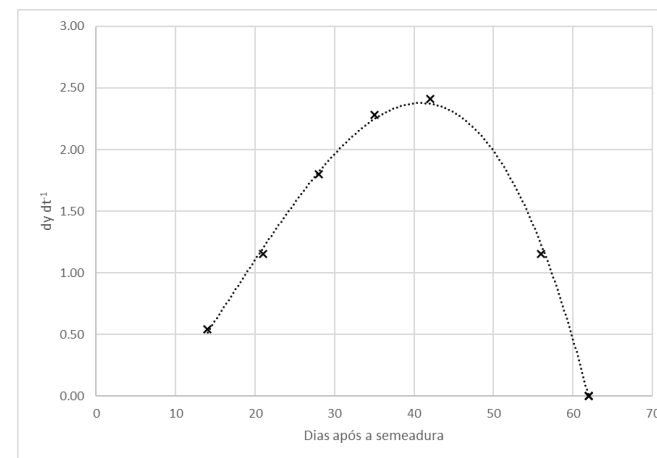
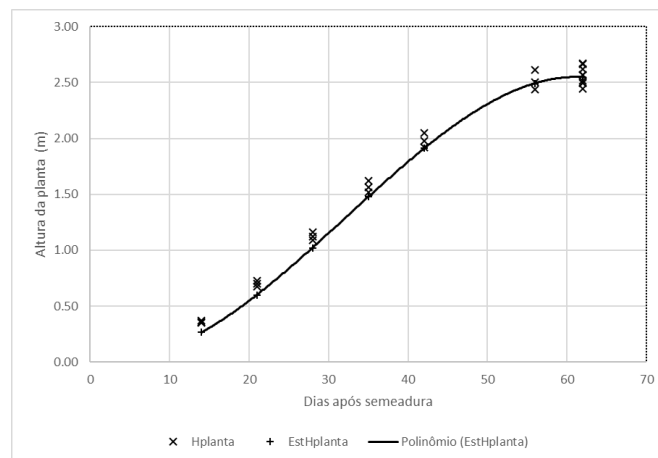
C PALHA 100.000 plantas ha⁻¹



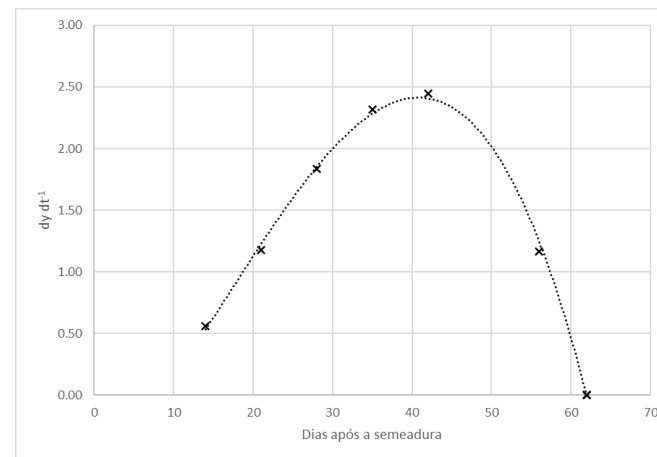
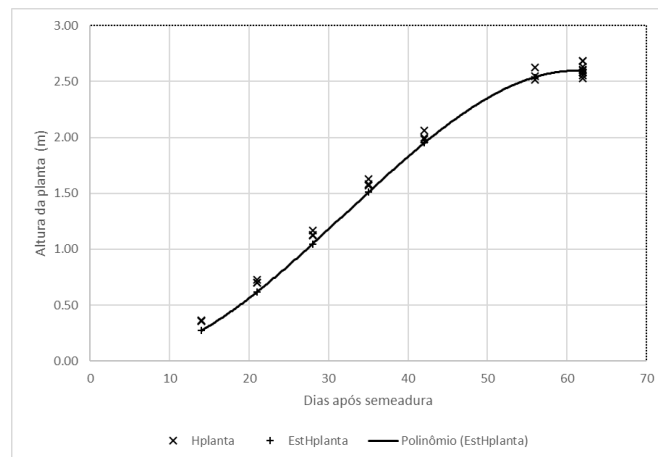
C PALHA 120.000 plantas ha⁻¹



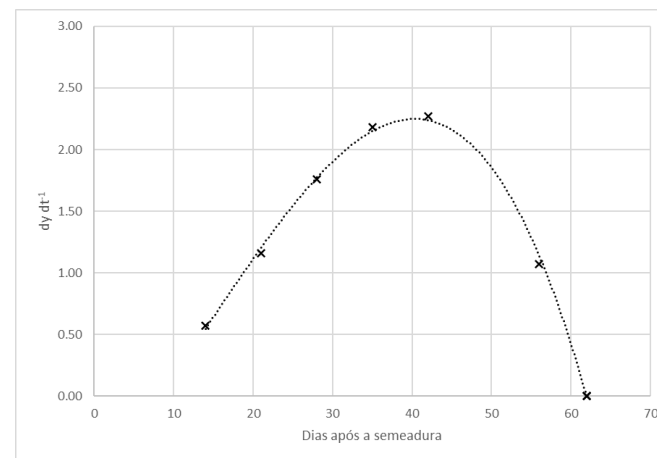
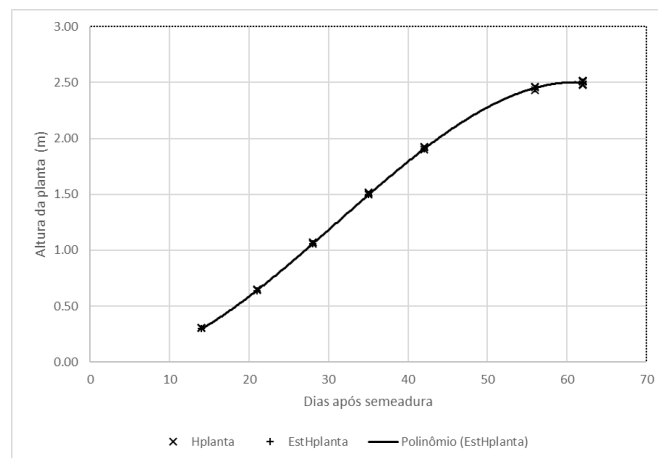
C SOLO NU 40.000 plantas ha⁻¹



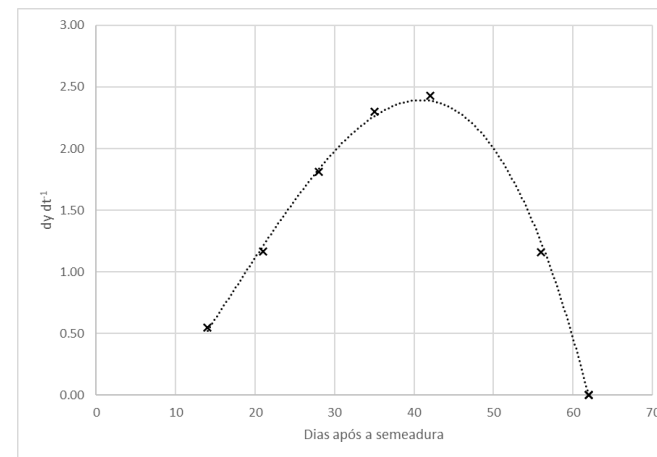
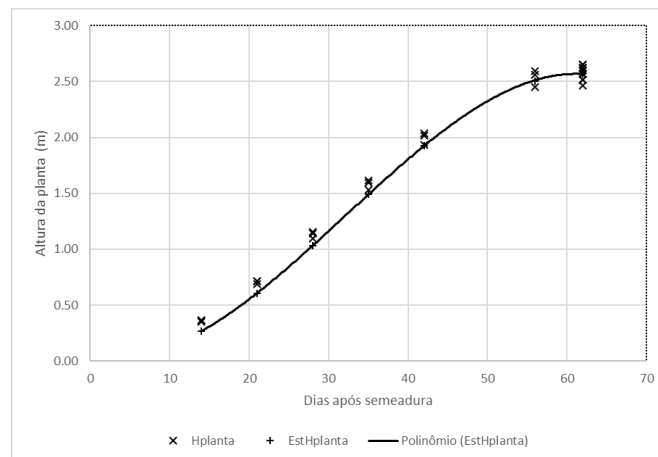
C SOLO NU 60.000 plantas ha⁻¹



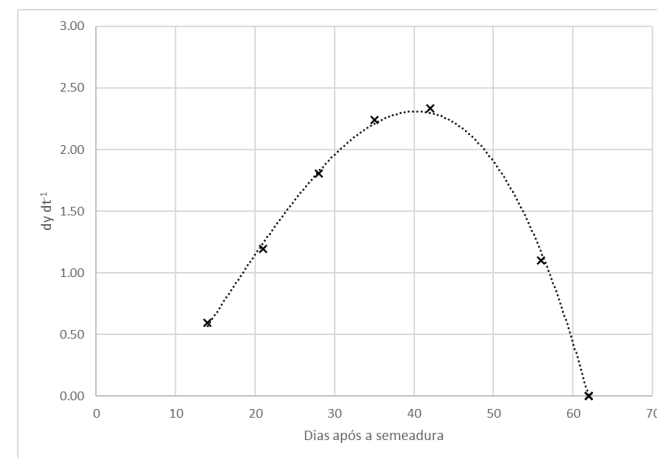
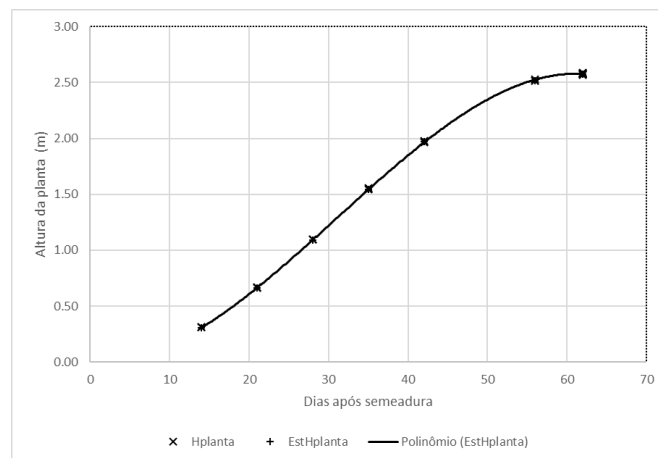
C SOLO NU 80.000 plantas ha⁻¹



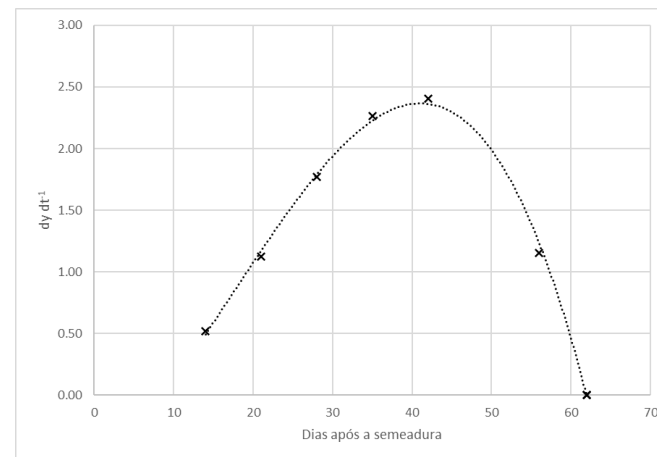
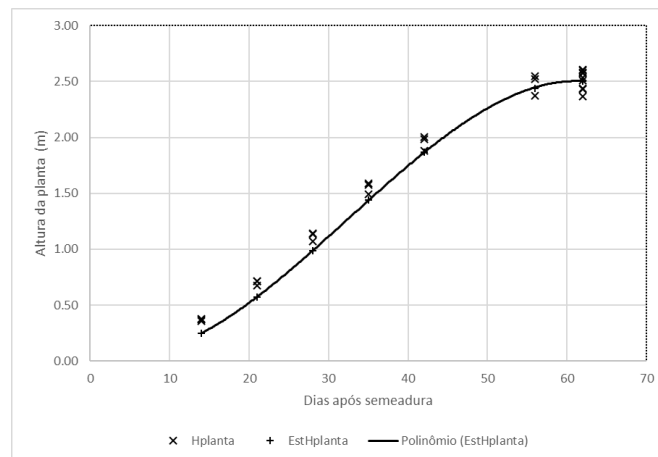
C SOLO NU 100.000 plantas ha⁻¹



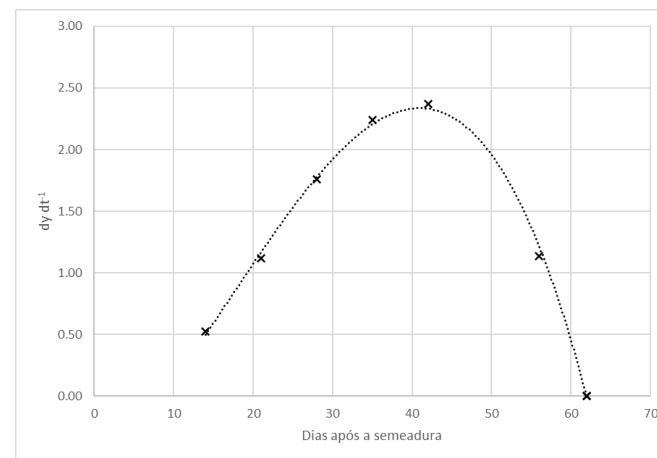
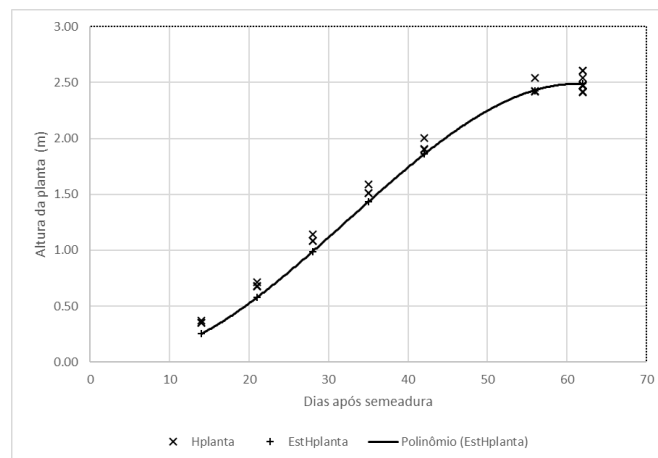
C SOLO NU 120.000 plantas ha⁻¹



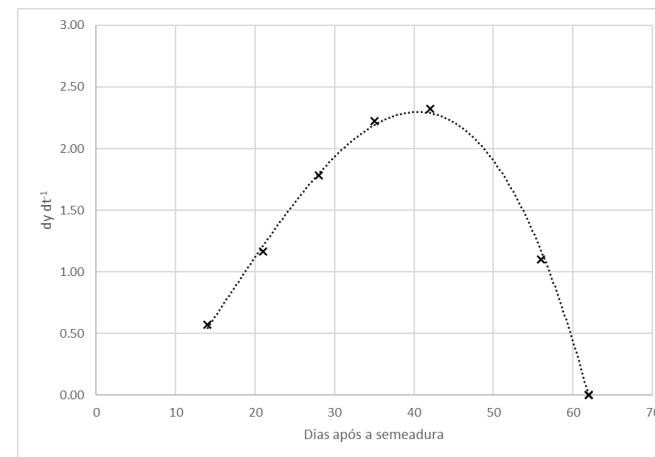
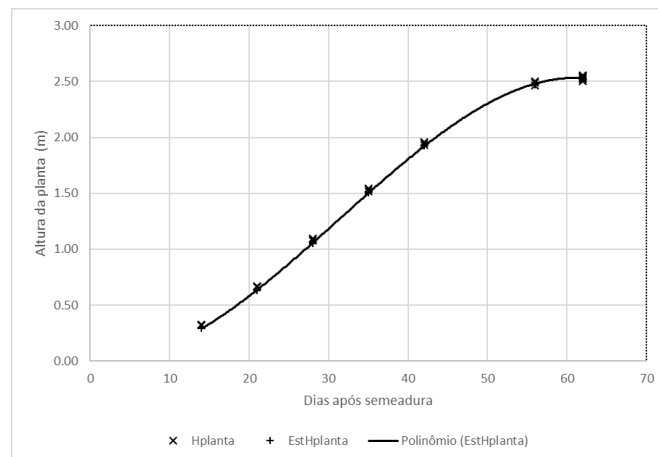
C POUSIO 40.000 plantas ha⁻¹



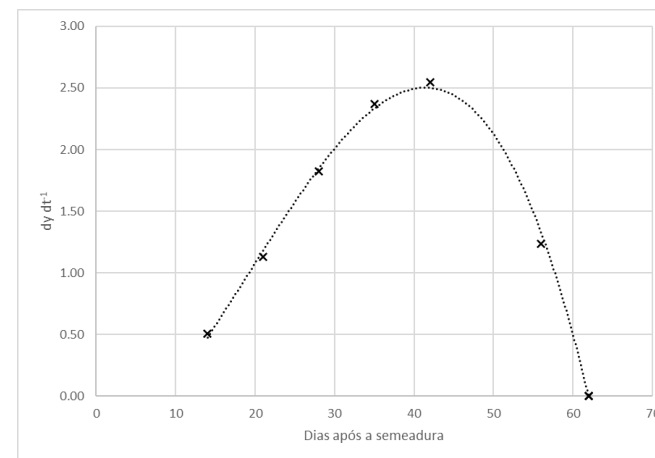
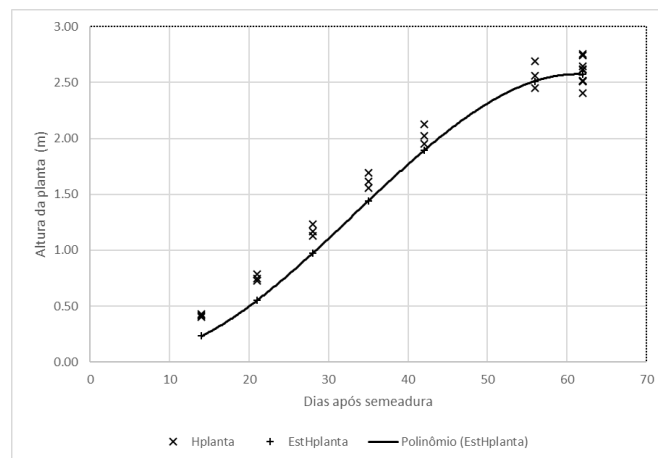
C POUSIO 60.000 plantas ha⁻¹



C POUSIO 80.000 plantas ha⁻¹



C POUSIO 100.000 plantas ha⁻¹



C POUSIO 120.000 plantas ha⁻¹

