

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIANA CRISTINA BARBOSA

**DOSES E FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO EM DIFERENTES ÉPOCAS
DE APLICAÇÃO NA CULTURA DA SOJA:
Residual na cultura do milho no Cerrado**

Ilha Solteira
2025

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

MARIANA CRISTINA BARBOSA

**DOSES E FONTES ALTERNATIVAS DE POTASSIO EM DIFERENTES ÉPOCAS
DE APLICAÇÃO NA CULTURA DA SOJA:
Residual na cultura do milho no Cerrado**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agronômica (Sistemas de Produção)

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

- B238d Barbosa, Mariana Cristina.
Doses e fontes alternativas de potássio em diferentes épocas de aplicação na cultura da soja: residual na cultura do milho no Cerrado / Mariana Cristina Barbosa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
140 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2025
- Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia
1. *Glycine max* L. 2. *Zea mays* L. 3. Silicato de potássio. 4. Adubação potássica. 5. Produtividade de grãos.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O uso de silicatos de potássio em épocas de aplicação e doses adequadas, contribuiu para melhorar as condições químicas do solo, a nutrição de plantas, promovendo sustentabilidade no sistema de rotação soja-milho.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The use of potassium silicates at appropriate application times and doses contributed to improving soil chemical conditions and plant nutrition, promoting sustainability in the soybean-corn rotation system.

IMPACTO POTENCIAL DE ESTA INVESTIGACIÓN

El uso de silicatos de potasio en momentos y dosis de aplicación adecuadas contribuyó a mejorar las condiciones químicas del suelo y la nutrición de las plantas, promoviendo la sustentabilidad en el sistema de rotación soja-maíz.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DOSES E FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO EM DIFERENTES
ÉPOCAS DE APLICAÇÃO NA CULTURA DA SOJA: Residual na cultura do
milho no cerrado

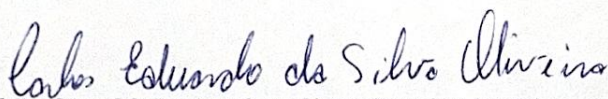
AUTORA: MARIANA CRISTINA BARBOSA

ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

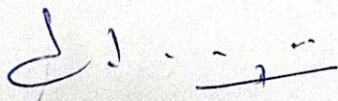
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. CARLOS EDUARDO DA SILVA OLIVEIRA (Participação Presencial)
Departamento de Agronomia / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS



Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação Presencial)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha
Solteira - UNESP

Ilha Solteira, 18 de fevereiro de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Célia e João Barbosa, pela oportunidade de apenas me dedicar aos estudos e ingressar em uma das melhores universidades do país, sem o incentivo deles não teria continuado e concluído o curso. A minha avó, Aparecida Ribeiro de Souza, *in memorian*, escolhi o curso em função dela, que adorava cuidar de plantas. Ao meu tio Mauro Barbosa que sempre me apoia, busca me questionar e me faz querer estudar mais. A todos meus familiares.

A todo o corpo docente que tive o privilégio de ter aula, em especial ao professor Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, com quem trabalho desde o 2022, corrigiu meus erros, deu apoio, à oportunidade de fazer intercâmbio para Dinamarca, paciência e contribui muito para meu crescimento pessoal. Ao professor Bhim Bahadur Ghaley, professor da Universidade de Copenhagen, que me recebeu e me orientou durante o intercâmbio, e aos amigos que encontrei Albert Miquel Colom Bauza, Maria Paula Vargas, Saad Mir e Vaibhav Pradip Chaudhary.

Aos professores que compuseram minha banca de qualificação professor Edosson Cabral da Silva e Thiago Assis Rodrigues Nogueira.

Aos companheiros do laboratório de Nutrição de Plantas, em especial ao técnico Marcelo Rinaldi e assistente Kaway Nunes, e aos colegas que me ajudaram na parte prática do experimento Alice Cayres, Felipe Gualda, Guilherme Carlos, João Pedro Prado, João Victor Duran Nardocci, Karina da Silva, Leilane Linhares, Loiane Romão, Lucas Seleguin, Luiz Previatto, Matheus Fenelon, Matheus Parlato, Paula Souza e Pedro de Carvalho.

À CAPES pela bolsa de estudos durante o mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”

Paulo Freire

RESUMO

No Brasil, existem diversas rochas silicáticas que podem ser utilizadas como fontes de K quando moídas, podendo reduzir o custo de produção na agricultura e a importação de fertilizantes potássicos. O presente estudo teve como objetivo verificar o efeito de épocas e doses de aplicação de fontes alternativas de potássio (Potasil "fonólito" ou Ekosil "Fonolito hidrotermalizado/Rocha potássica", ambas são silicato de potássio), na nodulação, componentes produtivos e produtividade da soja e residual no milho em sistema plantio direto no Cerrado. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LV), com textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4x3, sendo: duas épocas de aplicação (antecipada e semeadura), quatro doses de K₂O (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e três fontes (KCl, Potasil "Fonolito" e Ekosil "Fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica"). Os tratamentos com adubação potássica foram aplicados a lanço sem incorporação ao solo. Independentemente da fonte de potássio e do momento da aplicação, o fornecimento de 78 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou maior produtividade de grãos de soja no primeiro ano em sistema de sequeiro sob plantio direto em Latossolo Vermelho de textura argilosa. O fornecimento antecipado de Ekosil aumentou a massa de nódulos em comparação ao Potasil e KCl. Doses maiores de KCl diminuíram a massa de nódulos por planta de soja. Ekosil e Potasil por serem menos suscetíveis à lixiviação e têm efeito prolongado na liberação de K. São opções viáveis para o fornecimento de potássio em relação ao uso de KCl. Houve efeitos benéficos do uso de fontes de K₂O associadas ao Si no cultivo de soja, cuja aplicação antecipada de Ekosil, na dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O, promoveu maior eficiência agrônômica da adubação potássica para a soja. Portanto, estes possuem potencial para uso como fonte alternativa ao KCl no cultivo de soja, com teores adequados de potássio no solo. A produtividade de grãos de milho foi influenciada pelo residual da adubação potássica na soja, com dose ótima variando de 63,35 a 100,45 e kg ha⁻¹ de K₂O, no primeiro e segundo ano, independentemente do adubo potássico. A dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou a maior eficiência agrônômica. As épocas de aplicação de potássio não interferem na produtividade de grãos de milho, pode ser aplicado 30 dias antes ou na semeadura da soja. Dentre as fontes de potássio, o Ekosil proporcionou maior eficiência agrônômica e produtividade de grãos de milho, não diferindo do Potasil para este último no primeiro ano. O uso de fontes alternativas de potássio em épocas de aplicação e doses otimizadas, contribuiu para melhorar as condições químicas do solo, a nutrição de plantas, promovendo sustentabilidade no sistema de rotação soja-milho.

Palavras-chaves: *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; silicato de potássio; adubação potássica; produtividade de grãos.

ABSTRACT

In Brazil, there are several silicate rocks that can be used as K sources when ground, which can reduce the production cost in agriculture and the import of potassium fertilizers. The present study aimed to verify the effect of application times and doses of alternative potassium sources (Potasil "phonolite" or Ekosil "Hydrothermalized phonolite/potassic rock") on nodulation, productive components and productivity of soybean and residual in corn in a no-tillage system in the Brazilian Cerrado. The soil of the experimental area is classified as Dystrophic Oxisol, with clayey texture. The experimental design was randomized blocks, in a 2x4x3 factorial scheme, with two application times (early application and sowing), four K₂O rates (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) and three sources (KCl, Potasil "Fonolito" and Ekosil "Fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica"). The potassium fertilization treatments were broadcast without soil incorporation. Regardless of the potassium source and application time, the supply of 78 kg ha⁻¹ of K₂O provided greater soybean grain yield in the first year in a rainfed system under no-tillage in a clayey Oxisol. The early supply of Ekosil increased the nodule mass compared to Potasil and Potassium Chloride. Higher doses of KCl decreased the mass of nodules per soybean plant. Ekosil and Potasil, because they are less susceptible to leaching and have a prolonged effect on K release, are viable options for potassium supply in relation to the use of KCl. There were beneficial effects of the use of K₂O sources associated with Si in soybean cultivation, in which the early application of Ekosil, at a dose of 40 kg ha⁻¹ of K₂O, promoted greater agronomic efficiency of potassium fertilization for soybean. Therefore, these have potential for use as an alternative source to KCl in soybean cultivation, with adequate potassium levels in the soil. Corn grain yield was influenced by the residual potassium fertilization in soybean, with an optimal dose ranging from 63.35 to 100.45 kg ha⁻¹ of K₂O, in the first and second years, regardless of the potassium fertilizer. The 40 kg ha⁻¹ K₂O dose provided the greatest agronomic efficiency. The timing of potassium application does not interfere with corn grain yield, regardless of whether it is applied 30 days before or at soybean sowing. Among the potassium sources, Ekosil provided greater agronomic efficiency and corn grain yield, with no difference from Potasil for the latter in the first year. The use of alternative potassium sources with optimized timing and doses, contributed to improving soil chemical conditions, plant nutrition, promoting sustainability in the soybean-corn rotation system.

Keywords: *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; potassium silicate; potassium fertilization; grain yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental	28
Figura 2. Precipitação pluvial e temperatura média registrada durante os experimentos de soja e milho, no período de novembro 2021 a outubro de 2023, em Selvíria - MS.	29
Figura 3. Médias da massa de nódulos de soja (g planta^{-1}) sob interação entre diferentes fontes e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos; Letras minúsculas distintas entre as fontes de K_2O , letras maiúsculas distintas entre épocas são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	34
Figura 4. a) Interação entre doses x fontes de K_2O para massa de nódulos, com letras minúsculas distintas entre as fontes de K_2O se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; b) Massa de nódulos, em média, na soja em função de doses de K_2O no Ano 1.....	35
Figura 5. a) Efeito significativo épocas e fontes de K_2O para o Ano 1 e Ano 2, letras minúsculas distintas entre fontes e maiúsculas distintas entre épocas diferente a 5% pelo teste F. b) Efeito significativo épocas e doses de K_2O para o Ano 1 e Ano 2, letras minúsculas distintas entre épocas diferentes a 5% pelo teste F.	37
Figura 6. a) Efeito isolado doses para teor de potássio. b) Efeito isolado da época para teor de potássio, letras distintas diferem à 5% pelo teste F.	39
Figura 7. a) Efeito fontes para teor de silício, letras distintas diferem à 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para teor de Si, letras distintas diferem à 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para teor de Si, letras distintas diferem à 5% pelo teste F.	40
Figura 8. a) Efeito isolado fonte para teor de sódio, distintas diferem à 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para teor de sódio, letras distintas diferem à 5% pelo teste F.	41
Figura 9. a) Interação dose e época para altura de planta, letras distintas para época à 5% pelo teste F. b) Efeito isolado da época para altura de inserção de primeira vagem, letras distintas para época à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para inserção de primeira vagem, letras distintas para fontes à 5% pelo teste F. d) Interação dose e época para inserção de primeira vagem, letras distintas para época à 5% pelo teste F.....	43
Figura 10. a) Efeito isolado de fonte para altura de planta, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para altura de planta, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para altura de planta, letras distintas para época à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e época para altura de planta, letras minúsculas distintas para fonte e maiúsculas para época à 5% pelo teste F.....	46
Figura 11. a) Interação fonte e dose para DC, letras distintas para F à 5% pelo teste F. b) Interação Dose e época para CE, letras distintas para E à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para ICF, letras minúsculas distintas para F e maiúsculas para E à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para NFE, letras distintas para F à 5% pelo teste F.....	48
Figura 12. a) Efeito isolado da dose para IPE. b) Efeito isolado da fonte para IPE. c) Interação dose e época para palhada, letras distintas para época à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para palhada, letras distintas para F à 5% pelo teste F. e) Interação fonte e época para palhada, letras minúsculas distintas para fonte e maiúsculas para época à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para NFE, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F.....	50
Figura 13. a) Efeito isolado da dose para NV. b) Interação fonte e dose para palhada, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para palhada, letras minúsculas	

distintas para fontes e maiúsculas para época à 5% pelo teste F. d) Efeito isolado das doses para Prod.....	52
Figura 14. Massa de 100 grãos na soja em função de doses de K ₂ O na safra Ano 2, letras minúsculas distintas para F à 5% pelo teste F.	54
Figura 15. a) Efeito isolado dose para NGE. b) Interação fonte e época para NGE, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para épocas à 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para NGE, letras minúsculas distintas para épocas à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para NGE, letras minúsculas distintas para fonte à 5% pelo teste F.	56
Figura 16. a) Interação dose e época com letras distintas para épocas a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose com letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.	57
Figura 17. a) Interação dose e época com letras distintas para épocas a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose com letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.	58
Figura 18. a) Efeito isolado das doses para EA. B) Efeito isolado das fontes para EA com letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para EA com letras distintas para época a 5% pelo teste F. d) Interação entre fonte e dose para EA, letras distintas para época a 5% pelo teste F.	60
Figura 19. a) Efeito isolado das fonte para EA. B) Interação dose e época para EA com letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para EA com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F. d) Interação entre fonte e época para EA, letras minúsculas distintas para fonte e maiúsculas época diferem pelo teste de Tukey.	63
Figura 20. a) Interação fonte e época para N, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F. b) Efeito isolado época para N, com letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para EA com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F.	65
Figura 21. a) Interação fonte e dose para P, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado fonte para P, com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para P com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F.	66
Figura 22. a) Efeito isolado das fonte, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das época, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para K, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F.	67
Figura 23. a) Efeito isolado das dose, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das época, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para Ca, letras minúsculas distintas para época a 5% pelo teste F.	69
Figura 24. a) Efeito das doses para acúmulo de Mg, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito das épocas para acúmulo de Mg, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F.	70
Figura 25. a) Efeito isolado da época para S, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para S, letras minúsculas distintas para F a 5% pelo teste F.	71
Figura 26. a) Efeito isolado de época em Cu, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para Cu, letras distintas para fontes à 5% pelo teste F.	73
Figura 27. a) Interação fonte e dose para Fe, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F. b) Interação dose e época para Fe, letras minúsculas distintas para F a 5% pelo teste F. c) Efeito isolado das doses para Fe.	74

Figura 28. a) Efeito da fonte para zinco, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e época para zinco Ano 2, letras minúsculas distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação entre dose e fonte para zinco Ano 2, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F.....	75
Figura 29. a) Interação fonte e época para Si, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de fonte dentro época pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. b) Interação fonte e dose para Si, letras minúsculas distintas de época dentro da interação.....	76
Figura 30. Interação das doses com F para B a 5% pelo teste F.	77
Figura 31. a) Interação entre doses e época para sódio, letras diferem entre si para época pelo teste F. b) Interação entre doses e fonte para sódio, letras diferem entre si para fonte pelo teste F.....	78
Figura 32. a) Interação entre dose e fonte para N, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e fonte para P, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.....	81
Figura 33. a) Interação entre dose e fonte para K, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e época para K, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para K, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de F dentro pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.	82
Figura 34. a) Interação entre dose e época para Ca, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e fonte para Ca, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para Ca, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de F dentro pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.	84
Figura 35. a) Interação fonte e época para Mg, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de F dentro pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. b) Interação entre dose e época para Mg, com letras distintas entre época à 5% pelo teste F. c) Interação entre dose e fonte para Mg, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.....	85
Figura 36. a) Interação entre dose e época para S, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e fonte para S, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.	86
Figura 37. a) Efeito isolado das fontes das Zn, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das épocas para Zn, letras distintas para épocas a 5% pelo teste F.	88
Figura 38. a) Interação dose e fonte para Fe, com letras distintas entre fonte a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para manganês, letras distintas entre época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação entre dose e fonte para manganês, letras distintas entre fonte a 5% pelo teste F. d) Efeito da interação época e fonte para Mn, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F.	90
Figura 39. a) Efeito interação época e fonte para silício, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F. d) Efeito da interação entre doses e fontes para silício, letras distintas diferem entre si pelo teste F.	91
Figura 40. a) Interação dose e época para sódio, letras diferem entre si pelo teste F. b) Interação fonte e época para sódio, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para	

F. c) Efeito da interação entre doses e fontes para sódio, letras distintas diferem entre si pelo teste F.....	93
Figura 41. a) Efeito da interação entre dose e época para N, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação para fontes e doses para N, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.....	95
Figura 42. Efeito da interação para fontes e doses para P, letras distintas entre as fontes dentro de dose a 5% pelo teste F.....	96
Figura 43. a) Efeito da interação entre dose e época de aplicação para K, letras distintas entre as épocas dentro de doses a 5% pelo teste F. b). Efeito da interação entre dose e época para K. Letras distintas entre as fontes dentro de dose a 5% pelo teste F.	97
Figura 44. a) Efeito da interação para fonte e dose para Ca, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para Ca, letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para Ca, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.....	98
Figura 45. a) Efeito isolado de época para Mg, letras diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e fonte de aplicação para Mg, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. c). Efeito da interação entre dose e época para Mg, letras distintas para época a 5% pelo teste F.....	99
Figura 46. a) Efeito isolado das doses para S. b) Efeito da interação entre época e fonte para S, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F. c) Interação entre dose e época para S, letras distintas para época a 5% pelo teste F.	100
Figura 47. a) Efeito isolado do Zn, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado para Zn, letras distintas diferem entre si pelo teste F à 5% de probabilidade.....	101
Figura 48. a) Efeito da interação das doses com época para Mn, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Interação época e fonte para Mn, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F. c) Interação dose e fonte para Mn, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.	103
Figura 49. a) Interação dose e época para Si, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Interação dose e fonte para Si, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para Si, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.	105
Figura 50. Interação época e fonte para B, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.	106
Figura 51. a) Interação dose e fonte para N, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. b) Interação dose e época para N, letras distintas para época a 5% pelo teste F.	108
Figura 52. a) Interação dose e época para P, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Interação época e fonte para P, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.....	109
Figura 53. a) Efeito isolado de fonte para K, letras distintas se diferem a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para K, letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação de dose e fonte para K letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.....	110
Figura 54. a) Interação época e dose para Ca, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e época para Ca, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.	111

Figura 55. a) Efeito da interação de dose e fonte para Mg, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para Mg, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação entre época e fonte para Mg, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.	112
Figura 56. a) Efeito da interação de dose e época para S, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e fonte para S, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação época e fonte para S, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.....	114
Figura 57. a) Efeito isolado das fontes para Cu, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das dose para Cu, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação entre época e dose para Cu, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.	116
Figura 58. a) Efeito isolado das doses para Fe. b) Efeito isolado das fontes para Fe, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F.. c) Interação entre fonte e dose para Fe letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F.. d) Interação entre fonte e época para Fe, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.	117
Figura 59. a) Interação das doses e época para Mn, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. b) Interação das fonte e época para Mn, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Interação das dose e fonte para Mn, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F.	118
Figura 60. a) Efeito isolado das dose para Zn. b) Efeito isolado das fonte para Zn, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação das dose e época para Zn, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. d) Interação das fonte e dose para Mn, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F.	119
Figura 61. a) Interação da fonte e dose para Si, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. b) Interação da época e dose para Si, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Interação da época e fonte para Si, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.	121
Figura 62. a) Efeito isolado das fonte para sódio (Na), letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. B) Interação da F e E para Na, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Interação da época e dose para Na, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para Na, letras distintas diferem entre si para fonte a 5% pelo teste F.	123
Figura 63. a) Efeito isolado das fontes para B, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das épocas para B, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Efeito isolado das doses para Si.	125
Figura 64. a) Efeito isolado das épocas da aplicação para fósforo, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para H+Al, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação dose e fonte para CTC, letras distintas diferem entre si para fonte a 5% pelo teste F.	127

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Análise química inicial do solo na profundidade de 0,00-0,20 m.	29
Tabela 2. Médias da massa de nódulos (MNOD) e massa seca da parte aérea (MSPA) para Ano 1 e Ano 2 de soja sob diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.....	33
Tabela 3. Médias da concentração foliar potássio, silício e sódio na folha diagnose na cultura da soja em diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos, - Selvíria-MS 2021/22.	36
Tabela 4. Médias da concentração foliar de potássio, silício e sódio na folha diagnose da cultura do milho sob efeito residual de diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos, - Selvíria – MS.	38
Tabela 5. Médias da massa de nódulos (MNOD), massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (Altura) e altura da inserção da primeira vagem (Inserção) de soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.....	42
Tabela 6. Médias de Altura, Inserção de primeira espiga, Comprimento de espiga e Número de fileiras por espiga na cultura do milho sob efeito residual de diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	44
Tabela 7. Médias do número de vagens por planta (Nº vagens), número de grãos por planta (Nº grãos), massa de 100 grãos (M100), produtividade de grãos (PROD), palhada da colheita (Palhada) e eficiência agrônômica (AE) de soja sob diferentes fontes, Doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.	51
Tabela 8. Médias da quantidade de grãos por planta (grãos) e massa de 100 grãos (M100) de soja sob diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	53
Tabela 9. Médias de Número de grãos por espiga, Diâmetro da espiga, Massa de 100 grãos e Produtividade de grãos de milho sob efeito residual de diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos, Selvíria- MS 2021/22.	55
Tabela 10. Médias da eficiência agrônômica (EA) de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	59
Tabela 11. Médias eficiência agrônômica (EA) de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	61
Tabela 12. Médias para os macronutrientes na palhada de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	64
Tabela 13. Médias para os micronutrientes na palhada de soja sob fontes, doses e épocas de fertilizantes potássicos.	72
Tabela 14. Médias para os macronutrientes na palhada milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	80
Tabela 15. Médias dos micronutrientes e silício na palhada milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	87
Tabela 16. Médias para os macronutrientes nos grãos de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	94
Tabela 17. Médias para os micronutrientes, silício e sódio nos grãos de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	101

Tabela 18. Médias para os macronutrientes nos grãos de milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	107
Tabela 19. Médias para os micronutrientes, silício e sódio nos grãos de milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.....	115
Tabela 20. Médias para potássio, silício e boro no solo após cultivos de soja, milho e soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	124
Tabela 21. Médias para os atributos químicos após cultivo de milho sob residual de fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.....	126
Tabela 22. (continuação) Médias para os atributos químicos após cultivo de milho sob residual de fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.	128

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Adubação potássica na soja	20
2.2	Adubação potássica no milho	21
2.3	Doses, fontes e época de aplicação de fontes de K₂O	23
2.4	Adubação com silicato	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Caracterização e histórico da área experimental	28
3.2	Delineamento e tratamentos experimentais	30
3.4	Avaliações biométrica e pós-colheita	31
3.5	Análise dos dados	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Nodulação da Soja.....	33
4.2	Teor de potássio, silício e sódio na folha diagnose da soja e do milho.....	35
4.3	Componentes Biométricos	42
4.4	Componentes Produtivos.....	51
4.5	Eficiência Agronômica.....	59
4.6	Acúmulo de Nutrientes na Palhada	63
4.7	Acúmulo de Nutrientes nos Grãos	93
4.8	Atributos Químicos do Solo.....	124
5	CONCLUSÃO	129
	REFERÊNCIAS	130

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário global de mudanças climáticas a produtividade dos cultivos tem sido afetada comprometendo os ganhos econômicos e a segurança alimentar da população (Pathak *et al.*, 2018), e um dos grandes desafios é o aumento da produção sem a expansão de novas fronteiras agrícolas. Nas últimas décadas, o Brasil passou de importador a um dos maiores exportadores de alimentos do mundo. Nesse contexto, por ter área e água disponíveis para a expansão agrícola, é um país que também é responsável por atender à crescente demanda mundial por alimentos (Cavalheiro *et al.*, 2018; Resende *et al.*, 2018).

Sendo o maior produtor e exportador de soja (*Glycine max* L.) (Lovera, 2023), as áreas cultivadas vem crescendo. O que desperta preocupação quanto a adequada nutrição das plantas para que atinjam o potencial máximo das cultivares e trazendo maior retorno para o produtor (Macedo *et al.*, 2017; Natale *et al.*, 2018). O estado de Mato Grosso do Sul é o estado com 5º maior produção de soja do Brasil, com produção de 13,9 milhões de toneladas na safra 2022/2023, aumento de 55% superior a safra 2021/2022, e com aumento de 4,6% da área plantada com a cultura no estado, o que demonstra aumento da tecnologia e produção agrícola do estado (Companhia Nacional do Abastecimento - Conab, 2023a). Com relação a cultura do milho (*Zea mays* L.), o país é o maior exportador mundial de milho e o terceiro maior produtor mundial deste cereal (Lovera, 2023). A produção brasileira atingiu a marca 48 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (Conab, 2023b). O uso das tecnologias como máquinas agrícolas, sementes geneticamente modificadas e bom manejo do solo são fundamentais para o aumento da produtividade de grãos (Herrendorf; Schoellman, 2015; Artuzo *et al.*, 2018).

Para se obter altas produtividades, a fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis, para isso busca-se o uso adequado de calagem e adubações (Artuzo *et al.*, 2018; Yahaya *et al.*, 2022). A utilização de fertilizantes minerais é uma ferramenta eficiente e indispensável para o aumento expressivo da produtividade das culturas (Galvão *et al.*, 2014). Contudo, em média 85% dos fertilizantes minerais usados na agricultura brasileira são importados, o que influencia no custo de produção agrícola variando de acordo com a cotação dólar. Assim, existe uma crescente busca por fontes (F) alternativas de minerais sendo o pó de rocha (agrosilicatos) uma interessante opção para nutrientes como potássio (K), que exerce grande impacto na qualidade da cultura tendo influência positiva na massa individual de grãos de soja, no número de grãos por espiga (Silva *et al.*, 2020), regulação do fluxo de água, abertura e fechamento dos estômatos, ativador de várias enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (Santos *et al.*, 2010), é predominantemente absorvido na forma iônica K^+ e seu

retorno ao solo é muito rápido, ocorrendo logo após a senescência das plantas (Pavinato *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2017).

No solo, o potássio é encontrado na solução, em quantidade para suprir parte das demandas das culturas (Rabêlo *et al.*, 2013), sendo o K trocável, encontrado ligado ionicamente às cargas negativas, que são a principal F que pode repor a solução para este ser absorvido pelas plantas (Faria *et al.*, 2012), ou seja, o K é absorvido quando está solúvel, seja no solo, seja em corpos hídricos (Guedes *et al.*, 2021; Pereira; Gomes, 2021). Contudo, a aplicação insuficiente de adubo potássico pode levar ao esgotamento das reservas do solo e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas por lixiviação mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (Han *et al.*, 2021). De acordo com Brito, Rolim e Pedrosa (2021), há aumento da concentração de K^+ na solução lixiviada, na medida em que a quantidade de K_2O aplicado no solo aumenta. Portanto, o manejo correto da adubação potássica pode minimizar perdas e evitar o esgotamento de K do solo (Malaquias; Santos, 2017).

Dentre os fertilizantes potássicos, o cloreto de potássio (KCl) é o mais utilizado no Brasil, porém constam na literatura, perdas por lixiviação de K na ordem de 50-70% (Wu; Liu, 2008). Neste contexto, Vieira e Teixeira (2004) mencionam que os fertilizantes revestidos por polímeros são mais eficientes quando comparados com fertilizantes convencionais pois conferem menores perdas de nutrientes por lixiviação (Zahrani, 2000). Como no Brasil existem várias rochas silicáticas abundantes, que são aglomerados de minerais com desagregação dissolução lenta no seu estado natural, tornam-se uma possibilidade como F de K em sua forma moída (Resende *et al.*, 2005). Como o produto libera os nutrientes gradativamente, pode atender melhor a necessidade de cada cultura, diminuindo possíveis danos às raízes pela alta concentração de sais e com distribuição mais homogênea dos nutrientes, favorecendo o fornecimento e a demanda fisiológica da planta (Rossa, 2008).

A hipótese testada foi que haverá maior eficiência na absorção de K pela soja com época de aplicação antecipada de Potasil (fonolito) ou Ekosil (fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica “com menor concentração de sódio”), fontes de silicato de potássio na cultura da soja, com maior possibilidade de efeito residual da aplicação de doses de potássio na forma de fonolito ou fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica no cultivo do milho segunda safra, cultivado em sucessão. Assim, o presente estudo teve como objetivo verificar a melhor dose, época de aplicação e fonte de potássio na cultura da soja, além do efeito residual de épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio (Potasil “fonolito” ou Ekosil “fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica”), na cultura do milho em sistema plantio direto no Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Adubação potássica na soja

Para a produção de 1000 kg de semente de soja, a cultura necessita de 28 kg de K_2O , desses 28 kg, 60% do que é aplicado, acaba exportado na colheita, sendo a fase vegetativa a mais exigente (Foloni; Rosolem, 2008), em função do seu crescimento e consequente produção de massa verde, a maior parte do potássio fica retido na palhada da soja, porém em um intervalo curto de tempo, já que o nutriente não forma compostos orgânicos nas plantas e nem é um elemento estrutural. O potássio tem a capacidade de melhorar a qualidade da soja pela produção de isoflavonas, que é componente alimentar funcional para saúde humana, reduzindo o índice de doenças crônicas (Zakir; Freitas, 2015). Nos locais de maiores produções, os solos têm alto grau de intemperismo, o que abre espaço para os programas de adubação potássica (Foloni; Rosolem, 2008).

A principal fonte de potássio no Brasil é o KCl, como é altamente solúvel, busca-se formas de ter melhor aproveitamento, sendo uma delas parcelar a dose, aplicando entre 60 à 80 kg ha⁻¹ a cada operação, o que pode aumentar os custos de operação da cultura, porém é benéfico para os grãos que conseguem absorver mais nutrientes, já que uma parcela bem menor é perdida por lixiviação, pois o fertilizante está há menos tempo em contato com o solo, ou exposto as adversidades climáticas como chuva e vento, além de ter um menor efeito salino (Foloni; Rosolem, 2008), porém, essa perda por lixiviação ocorre de forma considerável em solos com menos de 20% de argila (Júlio *et al.*, 2016).

Haja visto que o potássio faz parte da formação e translocação de cadeias de carbono na síntese da celulose, ativando a amido sintetase, respiração e fotossíntese, pela ativação das ATPases, consequentemente melhora o uso da água pela planta, o nutriente ainda contribui para formação de açúcares e amido, fundamentais para a produção de etanol (Malavolta, 2006; Prado, 2008; Toller *et al.*, 2018). Segundo Toller *et al.* (2018), quanto maior o acúmulo de matéria seca melhora a capacidade de desenvolvimento dos órgãos ligados a fotossíntese, assim, os índices de produção aumentam e obtém maior acúmulo de carboidrato no grão. De acordo com Gonçalves Júnior *et al.* (2010), é possível observar incremento na produtividade de soja quando feita adubação potássica com dose de 120 kg ha⁻¹ de K_2O em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. Enquanto Melo *et al.* (2015) verificaram a altura máxima da planta de soja na dose de 72 kg ha⁻¹ de K_2O em Latossolo Amarelo distrófico. Além dos benefícios fisiológicos e metabólicos, o potássio ainda favorece a planta tornando a resistente a fungos e

bactérias, pois permite a redução de problemas da haste e vagem provocados por *Phomopsis*; evita que as folhas fiquem encarquilhadas e diminui o ataque de mancha púrpura das sementes provocados por *Cercospora kikuchii*, além de permitir que a planta resista aos problemas de cancro da haste provocados por *Diaporthe phaseolorum* f. sp. meridionalis (Zambiazzi *et al.*, 2019).

Quando há quantidades elevadas de K na rizosfera, esse elemento acaba sendo absorvido pelas plantas, mesmo que em quantidades superiores a necessária, assim, chama-se de consumo de luxo, no qual a produção não paga a quantidade de nutriente absorvido (Foloni; Rosolem, 2008). Além disso, ainda segundo os autores, quando isso ocorre, pode impedir que outros nutrientes sejam absorvidos pelas raízes, visto que alguns nutrientes competem pelo mesmo sítio de absorção, o que irá prejudicar outra parte do metabolismo e funções da planta, já que estará faltando determinado nutriente, no caso do K a competição ocorre com magnésio (Mg), que é íon central da clorofila, portanto, observa-se uma taxa menor de clorofila em caso de excesso de potássio, e com o cálcio (Ca), que faz parte da estrutura da parede celular das plantas, ou seja, o vegetal terá mal formação nos seus tecidos.

No Brasil a fonte de potássio mais utilizada é o cloreto de potássio, é uma fonte que requer atenção em função da sua alta solubilidade e baixa força de se adsorver aos colóides do solo, que favorecem a perda do elemento com maior facilidade, e a capacidade de salinização do solo, que pode prejudicar o desenvolvimento da planta (Korber *et al.*, 2017). Quando encontrado de forma natural no solo, está ligado a sólidos orgânicos, ou seja, matéria orgânica, pois assim conseguem se ligar a superfície negativa desses sólidos e em locais onde se encontram minerais primários e secundários, é possível encontrar o K nos sólidos inorgânicos, assim poderá ser liberado e absorvido pelas plantas (Júlio *et al.*, 2016; Taglieber *et al.*, 2022), como observado por Cavalli e Lange (2018), a reaplicação de K não tem efeitos significativos quando feita em solos com alto teor de K, visto que na safra seguinte o milho irá liberar alta quantidade de K na decomposição da palhada.

2.2 Adubação potássica no milho

Para se produzir 9 mil kg ha⁻¹ de milho, o estande de plantas precisa absorver 132 kg ha⁻¹ de K₂O (Rodrigues *et al.*, 2014; Takasu *et al.*, 2014), sendo que 32% serão destinados aos grãos e serão exportados do campo. O milho é uma cultura com concentração crítica de potássio de 1,9 mmol_c dm⁻³ no solo, sua função principal é fornecimento palhada para cobertura em plantio direto (Rodrigues *et al.*, 2014; Takasu *et al.*, 2014; Melo *et al.*, 2021; Mallarino, 2024). Para

que a adubação potássica tenha efeitos significativos na cultura, é preciso que a concentração do nutriente no solo esteja abaixo da concentração crítica (Takasu *et al.*, 2014). A sucessão entre soja e milho no decorrer do tempo é possível que ciclagem de nutrientes se torne mais eficiente quando utilizado o cereal em função da alta produção palhada (Mallarino, 2024), que favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo, assim, possibilita maior disponibilidade de potássio para a próxima cultura (Bader *et al.*, 2021). Segundo o estudo conduzido por Bader *et al.* (2021), a disponibilidade de potássio está diretamente ligada a quantidade de matéria orgânica que tem no solo.

A importância para adubação potássica no milho é que possibilita precocidade na inflorescência feminina, maturação uniforme, colmo se torna mais resistente, o que possibilita menor acamamento de plantas, e os grãos atingem maior massa de 100 grãos, visto que o K favorece maior concentração de CO₂ no mesófilo, proporciona maior atividade fotossintética, que pelo ciclo de Calvin vai para os grãos, já que o objetivo é a produção de granação nesse estágio (Pimentel, 1998), enquanto na falta de potássio o cereal pode ter espigas mais leves e menos rígidas, alto índice de abortamento de grãos, o que resulta na baixa produtividade e menor peso de grãos, já que o potássio está diretamente ligado ao número de grãos por espiga, pela falta de ativação de enzimas que participam da divisão celular para formar os grãos, além do aprofundamento das raízes (Rodrigues *et al.*, 2014; Takasu *et al.*, 2014; Bader *et al.*, 2021). Ainda segundo os autores, a maior quantidade do K absorvido é no pré-embonecamento do milho, quando atinge 70% do potássio absorvido durante o ciclo, sendo, portanto, uma fase que não pode faltar o nutriente, caso contrário os problemas citados podem aparecer. Conforme observado por Qu *et al.* (2024) e Frei; Wiesenberg; Hirte (2024), o tipo de potássio aplicado afeta atividade da Rubisco, em consequência irá afetar as demais atividades enzimáticas, fotossíntese e respiração feita pela folha de milho, assim, o potássio influencia na osmorregulação, turgor da célula, transporte de água e nutrientes da raiz até os órgãos superiores das plantas, promovendo estabilidade da membrana celular.

Como já citado na literatura, o potássio pode ajudar as plantas com estresse biótico e abiótico, no estudo feito por Rehman *et al.* (2024), reportou-se que quando ocorre estresse por salinidade no solo, o que pode ser comum com aplicação de altas doses de KCl, que é dissociado quando em contato com a água e o Cl em excesso acaba sendo prejudicial as plantas (Kwon *et al.*, 2023; Carvalho *et al.*, 2024), o milho produz espécies reativas de oxigênio o que gera excesso de antioxidante no metabolismo, resultando em estresse oxidativo, prejudicando a produção de proteínas e lipídios, porém utilizando outras fontes de K e fazendo a aplicação na dose correta esses efeitos são minimizados, o que permite incremento de produção. Enquanto

outras fontes de K, fornecem o nutriente com menor risco de causar salino, suprimindo as necessidades das plantas, quando em condições adequadas para esse tipo de adubação (Ran *et al.*, 2021; Praxedes *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2023).

2.3 Doses, fontes e época de aplicação de fontes de K₂O

A adubação potássica tem suas formas de aplicação um tanto variadas, pois são dependentes das características do solo, portanto, para cada localidade será específica para se ter um melhor aproveitamento do fertilizante, assim, entende-se a importância dos estudos referente às doses, fontes e época de aplicação do nutriente para melhor aproveitamento pela cultura (Júlio *et al.*, 2016).

Os novos cultivares de soja e milho são mais exigentes, hoje a soja extrai 42,6 kg de K₂O por tonelada de grãos e exporta 21,4 kg K₂O por tonelada de grãos (Godoy, 2021), enquanto o milho tem a extração na faixa de 19 kg de K₂O por tonelada de grãos, sendo sua exportação de 3,1 kg K₂O por tonelada de grãos (Cantarella *et al.*, 2022). Os fertilizantes de liberação lenta podem reduzir o número de adubações feitas durante um ciclo da cultura, reduzindo assim os custos de produção e a lixiviação de íons para o lençol freático. Ekosil e Potasil são fertilizantes naturais que fornecem potássio (K) liberando de forma gradual K, Si e Na, no caso do Potasil, o que os diferenciando de fertilizantes tradicionais de alta solubilidade, como o cloreto de potássio (KCl), que rapidamente libera os nutrientes para as plantas (Yoorin, 2025a; Yoorin, 2025b). Em função das características apresentadas pelos fertilizantes potássicos, as doses são baseadas na exigência da cultura, tipo de solo e forma de aplicação, costuma-se parcelar as doses de potássio, quando a necessidade de adubação é de elevadas quantidades, para que se diminua a perda e alcance um melhor aproveitamento do adubo, assim é feita a aplicação no sulco quando em semeadura e a lanço quando feita tardiamente (Bernardi *et al.*, 2009). Ainda segundo os autores, observou-se que quanto maior a dose, menor a eficiência da planta em absorver, assim, quando há aplicação de doses elevadas tem as maiores perdas dos fertilizantes para o ambiente e pouco acúmulo do nutriente na planta.

Segundo Takasu *et al.* (2014), estudos que abordaram doses de potássio indicaram que o estande acaba diminuindo devido ao efeito salino causado pelo fertilizante, porém, para compensar a menor quantidade de plantas na área, as plantas são mais vigorosas e tem maior produção por espigas, porém com o aumento do número de grãos por espiga, a massa de 100 grãos tem redução linear em função da competição por nutrientes e fotoassimilação dos açúcares produzidos na fotossíntese. Ainda segundo os autores quando ocorre um aumento

linear na produção por espiga, se deve a genética do híbrido, quanto esse híbrido aproveita os nutrientes absorvidos durante o ciclo.

Tendo em vista que o excesso de K pode causar deficiência de outros nutrientes (Ca e Mg) em função da competição por sítios de absorção e, no caso da aplicação de KCl em doses altas, pode ocorrer salinidade, a utilização de produtos que liberam os nutrientes gradativamente, podem atender melhor a necessidade de cada cultura, diminuindo possíveis danos causados às raízes pela alta concentração de sais e com distribuição mais homogênea dos nutrientes, favorecendo o fornecimento e a demanda fisiológica da planta (Rossa, 2008).

A Mineração Curimbaba, localizada na região de Poços de Caldas-MG, dispõe de grandes reservas da rocha denominada fonolito, um potássio silicatado que apresenta, de acordo com Teixeira *et al.* (2011), a seguinte composição química: 52,44% SiO₂; 23,37% Al₂O₃; 9,06% K₂O; 8,4% Na₂O; 3,85% Fe₂O₃; 2,84% CaO; 0,61% TiO₂; 0,13% MnO; e 0,10% P₂O₅ (Luz *et al.*, 2013). Esta fonte alternativa de K também fornece Si em grande quantidade e pode propiciar maior efeito residual de potássio no solo. Na literatura constam respostas ao efeito residual da adubação potássica quando as culturas anteriores são o girassol, soja e trigo (Borkert *et al.*, 1997), ou o milho (Viégas; Freire, 1958).

O uso do KCl predomina na agricultura brasileira, resultado da maior disponibilidade e da melhor relação custo-benefício (Echer; Foloni; Creste, 2009). No entanto, vários inconvenientes econômicos e ambientais associados à utilização de fertilizantes convencionais tornam-se foco de preocupação em todo o mundo (James; Sojka, 2008; Ni; Liu; Lü, 2009), por verificarem perdas por lixiviação de K na ordem de 50-70% (Wu; Liu, 2008; Rodrigues *et al.*, 2014), quando aplicado de forma inadequada aos solos são perdidos para o ambiente sem serem absorvidos pelas plantas (Sousa; Rein, 2009), o que provoca não só grandes perdas de recursos econômicos, mas também prejuízos ambientais devido à poluição dos recursos hídricos (Ge *et al.*, 2002; Shavit; Reiss; Shaviv, 2002).

Os fertilizantes são os que representam maior valor no custo de produção e os que mais limitam a produtividade de algumas culturas (<https://globalfert.com.br/noticias/culturas/gasto-com-fertilizante-e-um-dos-viloes-do-custo-de-producao-no-brasil/>). Além disso, a aplicação em excesso do KCl dificulta a absorção de água pelas sementes e pelas radículas, devido ao aumento da pressão osmótica externa às células (Sangoi *et al.*, 2009), podendo provocar redução na germinação das sementes com consequente menor número de plantas por área. Outro problema da produção agrícola brasileira está associado a dependência da importação desse fertilizante potássico, comprometendo sua sustentabilidade e segurança alimentar. Os sais potássicos representam a principal fonte de K utilizada na agricultura mundial; porém, a

produção deste insumo está restrita a poucos países como: Canadá, Rússia, Bielo-Rússia, Alemanha, Israel, Estados Unidos e Jordânia, que juntos respondem por mais de 85% da produção mundial. Tal fato obriga o Brasil a importar mais de 95% de todo o potássio utilizado (Oliveira; Dorner; Almeida, 2023).

Bernardi *et al.* (2009) observaram também que o milho tem maior capacidade de absorção quando o potássio é aplicado de forma antecipada, tendo melhor aproveitamento e produção de matéria seca. Bernardi *et al.* (2009), na busca pelo melhor aproveitamento e da literatura que vem avançando as pesquisas sobre épocas de adubação, já que ocorre melhora físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso, o SDP que proporciona culturas de cobertura, permitindo a ciclagem dos nutrientes que antes estariam presentes na palhada e com a decomposição estarão disponíveis no solo, a possibilidade de adubação durante todo período do sistema de cultivo, a antecipação da adubação, descartando a adubação de base realizada na semeadura, vem se tornando uma possibilidade. Logo, dessa forma de manejar a área consiste em antecipar a aplicação de forma total ou parcial, dependendo da dose a ser aplicada, doses elevadas costuma se dividir durante o ciclo, para a cultura de verão, fazendo a operação na cultura antecessora, sendo a lançado ou incorporada ao solo (Guareschi *et al.*, 2011).

Segundo Júlio *et al.* (2016), já que o potássio ativa diferentes enzimas, faz parte da fotossíntese, respiração, abertura e fechamento de estômatos como observado, verificou-se que quando aplicado potássio em estágio de floração, estágio R₁ na soja, pode ocorrer melhorar no desenvolvimento de características agrônômicas e produtivas. Para Foloni e Rosolem (2008), doses entre 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O, já que o K é liberado rapidamente da palhada de adubos verdes e fica prontamente disponível para próxima cultura, pois não é um elemento com função estrutural, praticamente não há necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura sucessora (Mendonça *et al.*, 2015). Além disso, diminui o acúmulo de potássio nos grãos quando feito aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O no milho e mais aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O na cultura da soja (Foloni; Rosolem, 2008). Visto que o cultivo com adubação antecipada só possível quando há SPD, em função da palhada deixada no campo, afinal a textura do solo e matéria orgânica irão influenciar na retenção do cátion (Júlio *et al.*, 2016). Em cultivos com mais de cinco anos de SPD há incrementos de C orgânico e na CTC do solo, o que influencia em maior retenção de cátion, com ênfase ao K⁺ (Foloni; Rosolem, 2008; Mendonça *et al.*, 2015).

2.4 Adubação com silicato

O silício (Si) é o segundo elemento mais disponível no solo depois do oxigênio na forma de dióxido de silício (SiO_2) e absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4) (Attipoe *et al.*, 2023; Lamlom *et al.*, 2024). A adubação com silício se iniciou na década de 1960, quando percebeu seus benefícios na translocação e acúmulo de outros elementos químicos nas Poaceas, além de benefícios como observado na cultura do arroz a resistência a Brusone e mancha marrom, resistência a ferrugem (*Puccinia melanocephala*) em cana-de-açúcar e na soja, maior controle de *Blumeria graminis* f. sp. tritici em trigo, resistência a antracnose no feijão e no sorgo, além do controle de *Erysiphe graminis* em cevada (Pozza; Pozza; Botelho, 2015). Ainda segundo os autores, isso pode ocorrer em função do acúmulo do elemento em espaços extracelulares, quando Si se movimentando para o ápice da planta, via apoplasto, pois ocorre polimerização e acaba se acumulando nas paredes das folhas e vasos de xilema, além disso o silício pode agir na atividade das enzimas que participam da defesa da planta contra patógenos, o que forma uma barreira química, principalmente para plantas acumuladoras de silício, como a gramíneas.

Sendo o silício considerado um elemento benéfico, o efeito desse elemento químico nas plantas é a resistência a doenças fúngicas e ataque de pragas pela produção da sílica, atenua a salinidade, aumento da rigidez da célula pela maior produção de composto como lignina, maior rigidez celular, melhorando a arquitetura da planta, favorecendo a fotossíntese, reduz taxa de senescência, atenua toxicidade Fe, Mn, e Al em solos com alto teor desses elementos, além de maior tolerância a metais pesados (Pozza; Pozza; Botelho, 2015; Lamlom *et al.*, 2024).

Ao ser aplicado ao solo na forma de silicato de cálcio, o silício se dissocia em ânion silicato e cátion de Ca^{2+} , o que provoca uma competição inibitório em função da competição por sítios ativos nos coloides do solo, assim, pode aumentar a disponibilidade de fosfatos, nitratos e sulfatos no solo, pois esses não irão se ligar aos coloides positivos e irão permanecer disponíveis para serem absorvidos (Pozza; Pozza; Botelho, 2015). Ainda segundo os autores, como o silício é elemento benéfico, das formas citadas acima, outro modo de ação que favorece a resistência a doenças é o efeito na nutrição mineral das plantas, afinal, uma planta nutrida consegue lidar melhor com as adversidades bióticas ou abióticas. Segundo Negasa *et al.*, (2023), silicatos de cálcio e de magnésio, podem ser usados para corrigir o solo, como já dito, ao se dissociar, tem-se Ca^{+2} e Mg^{+2} para as plantas, são fontes alternativas, porém vantajosamente para a correção da acidez do solo e melhoria do rendimento das culturas, pois além de neutralizar o solo, fornece silício (Si), que tem maior taxa de reação com solo por conta

das características de partículas, com maior superfície específica, assim permitem maior taxa de reação e mobilidade; por conta dessas características os produtos que se dissociam nas reações entre silicatos e solo, tem capacidade de atingir camadas mais profundas do solo, portanto tem maior potencial para construção de fertilidade em camadas mais profundas de solos acidificados. Um ponto interessante apresentado pelos mesmos autores é o tempo em que a toxidez de Al^{+3} , Mn^{+2} e Fe^{+2} foi controlada, perdurando por 18 meses após a aplicação de silicato na área.

Atenua deficiência de K, Zn, Mn, Fe e B, pois o silício favorece a mobilização de nutrientes nas plantas e no solo, maior utilização de P, atenua toxicidade de amônio, reduz transpiração excessiva, incrementa crescimento produtivo, pois favorece a fotossíntese e atividades enzimáticas, o que permite aumento na produção e viabilidade do grão de pólen, atenua déficit hídrico (Pozza; Pozza; Botelho, 2015; Negasa *et al.*, 2023; Lamlom *et al.*, 2024). É constado na literatura que o silício em pulverização foliar com fontes solúveis apresenta bons resultados para aumentar produtividade e biofortificação de hortaliças, apresentando um bom efeito residual. Além do mais, o silício é muito útil para áreas com algum tipo de estresse, seja biótico (doenças e pragas, cultivar pouco ereta) ou abiótico (déficit hídrico, excesso de metais, pH baixo).

Segundo um estudo conduzido por Attipoe *et al.* (2023), na soja o silício tem relação significativa N, o que favorece o incremento produtivo, pois, como permite maior formação de nódulos, ocorre aumento na FBN, além disso permite maior produção de ácido abscísico na raiz, conseqüentemente maior volume de raiz lateral, o que tem relação direta com produção e tamanho de nódulos. Segundo estudo conduzido por Lamlom *et al.* (2024), as adubações com silicato no milho favoreceram seu crescimento diante o déficit hídrico, a cultura ainda obteve bom crescimento, produção e qualidade com adubações foliares com silicato. Ainda segundo o mesmo estudo, o silício aumenta a tolerância aos sais, mitigando o impacto de salinidade da área na cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e histórico da área experimental

Os experimentos com o cultivo da soja na safra de verão e do milho em sucessão em dois anos, foram conduzidos na mesma área experimental, localizada na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Ilha Solteira – SP, situada nas coordenadas 22° 25' 5" S e 51° 20' 30" O, no município de Selvíria-MS, com altitude de 335 m (Figura 1). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa (de 420, 50 e 530 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente) de acordo com Embrapa (2018), cultivado nos últimos 25 anos em sistema plantio direto (S.P.D.). Para verificar os atributos químicos do solo conforme metodologia de Cantarella, Raij, Camargo (1997), foram coletadas 20 amostras de solo na profundidade de 0,00-0,20 m, por toda área experimental (Tabela 1).

Figura 1. Localização da área experimental



Fonte: Produção da própria autora

Tabela 1. Análise química inicial do solo na profundidade de 0,00-0,20 m.

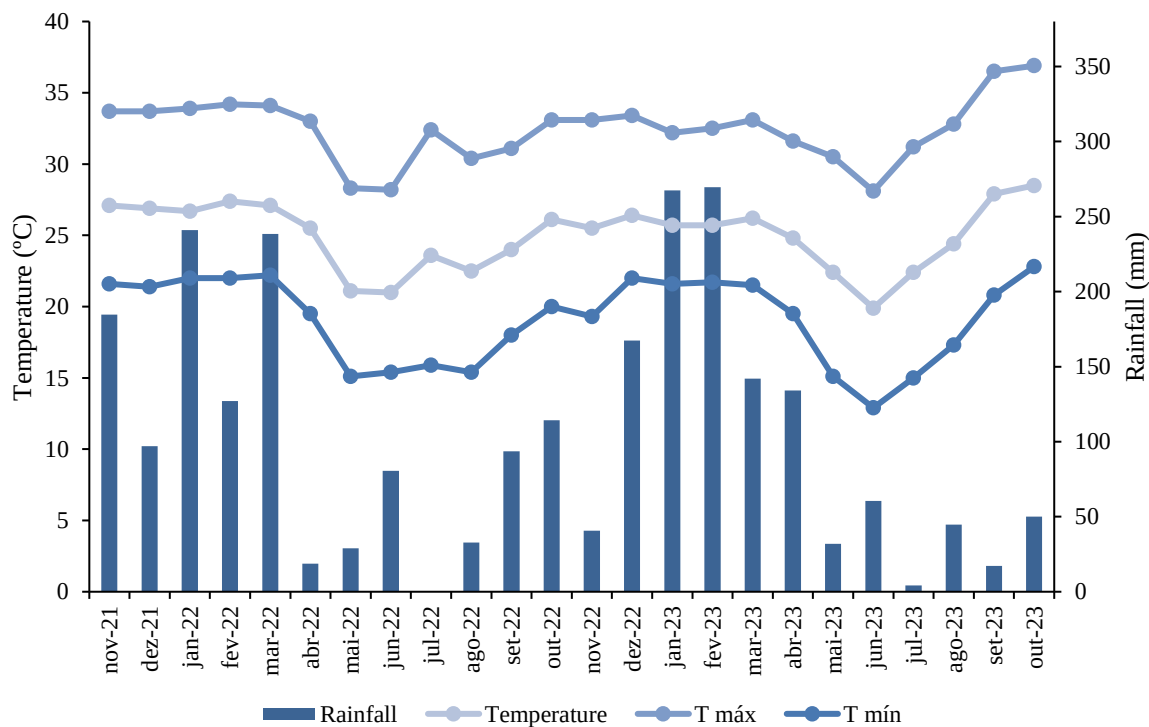
P-resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	S-SO ₄
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	mg dm ⁻³
44	18	5,5	3,3	20	14	28	0	37,3	13
CTC	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	B ^a	Cu ^b	Fe ^b	Mn ^b	Zn ^b
mmol _c dm ⁻³	-----	%	-----	%	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----
65,3	57	31	21	0	0,27	3,4	24	23,9	2,4

^a Determinado em água quente, ^b Determinado em DTPA (dietilenotriaminopentaacético). MO: matéria orgânica, CTC: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, m: saturação por Al. Análise realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FEIS.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A classificação climática da região, de acordo com Köppen, é Aw, com precipitação média pluvial anual de 1370 mm, temperatura média anual 23,5 °C (Hernandez *et al.*, 1995). Os dados climáticos mensais durante os dois anos de condução do experimento de soja e milho estão disponíveis em forma de gráfico (Figura 2). A área experimental conta com sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central, com lâmina de aplicação de 14 milímetros, e turnos de rega de 72 horas.

Figura 2. Precipitação pluvial e temperatura média registrada durante os experimentos de soja e milho, no período de novembro 2021 a outubro de 2023, em Selvíria - MS.



Fonte: Produção da própria autora.

3.2 Delineamento e tratamentos experimentais

O delineamento experimental tanto do experimento com soja (efeito imediato dos tratamentos) como o de milho (efeito residual dos tratamentos) foi realizado em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 4 \times 3$, sendo: duas épocas de aplicação (na ocasião da semeadura e 30 dias antes da semeadura da soja), quatro doses de potássio (0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de K_2O – equivalente a: Ekosil 500 kg ha^{-1} , 1000 kg ha^{-1} e 1500 kg ha^{-1} ; Potasil 333,3 kg ha^{-1} , 666,7 kg ha^{-1} e 1000 kg ha^{-1} ; KCl 66,7 kg ha^{-1} , 133,3 kg ha^{-1} e 200,0 kg ha^{-1}) e três fontes de potássio (KCl – 60% de K_2O , Potasil “Fonolito” - com 12% de K_2O , 25% de silício e sódio (3% de K_2O é solúvel em 5% de ácido tartárico e 0,5% de NaF) e Ekosil “Fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica” - 8% de K_2O e 25% de silício (1% de K_2O é solúvel em 2% de ácido cítrico); com quatro repetições e total de 24 tratamentos. Os tratamentos com adubação potássica foram aplicados manualmente a lanço e sem incorporação ao solo, pois a pesquisa foi realizada em uma área agrícola com histórico de SPD, tendo cultivos antecessores a cevada, feijão, mamona, milho, soja e trigo.

As parcelas foram delimitadas com cinco metros de comprimento e oito linhas espaçadas em 0,50 m, tanto nos cultivos de soja como nos de milho. A área útil das parcelas foram as quatro linhas centrais de 5 m. Ressalta-se que as parcelas foram mantidas nos dois cultivos de soja e dois de milho, de modo que receberam sempre o mesmo tratamento.

3.3 Manejo dos experimentos

Realizou-se a dessecação prévia das plantas daninhas da área com o herbicida glifosato (1800 g ha^{-1} do i.a.), 15 dias antes da semeadura da soja e com os herbicidas glifosato (1800 g ha^{-1} do i.a.) e 2,4-D (670 g ha^{-1} do i.a.) antes da semeadura do milho, e após cerca de 7 dias foi empregado o desintegrador mecânico (Triton) no preparo da palhada da área.

Com base na análise de solo (Tabela 1) foi realizada a adubação com 62 kg ha^{-1} de P_2O_5 utilizando o fertilizante superfosfato triplo, aplicado abaixo e ao lado do sulco de semeadura de soja. No experimento de milho foi realizada adubação com 20 kg de N utilizando sulfato de amônio como fonte e 70 kg de P_2O_5 utilizando superfosfato triplo como fonte, também com base na análise de solo (Tabela 1) e recomendação de Cantarella *et al.* (2022). Nos cultivos de milho, quando as plantas estavam no estágio V5 foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, na dose de 150 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia.

A cultivar de soja utilizada foi a TMG7063, com 18 sementes semeadas por metro linear. Aplicou-se, cobalto e molibdênio (CoMo) foram aplicados no sulco, na dose de 150 mL ha⁻¹ (com 1,5% de Co e 19,5% de Mo). Procedeu-se a inoculação convencional (dose de 75 mL de inoculante para 50 kg de semente) com as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e SEMIA 5080 garantindo que 5×10^9 UFC mL⁻¹ na forma fluida fossem realizados nas sementes de soja.

A primeira safra de soja foi semeada em 7 de dezembro de 2021 e totalizou 121 dias de ciclo até a colheita; a segunda safra de soja foi semeada em 7 de novembro de 2022 e colhida em 22 de março de 2023, totalizando 135 dias no campo. O milho (híbrido simples DKB363 PRO03, Agranda Sementes) foi semeado duas semanas após a colheita dos experimentos de soja, totalizando em média 125 dias no campo. A densidade populacional (DP) inicial de soja foi de 260 mil plantas ha⁻¹ e a de milho de 68 mil plantas ha⁻¹. Quando necessária foram realizados os controles de plantas daninhas, pragas e doenças.

3.4 Avaliações biométrica e pós-colheita

Nos experimentos de soja e milho, as amostras foram secas em estufa a 60 °C por três a cinco dias, até chegarem a um peso constante, foram moídos em moinho Willey, assim, foram realizadas as seguintes avaliações: a) teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na e Si foliar, coletando-se o terceiro trifólio da soja de cima para baixo no florescimento pleno e, o terço médio de 20 folhas da inserção da espiga de milho principal, no florescimento feminino das plantas, de cada parcela segundo a metodologia descrita em Cantarella *et al.* (1997); b) índice de clorofila foliar, após a aplicação dos tratamentos quando as plantas estiverem no estágio de florescimento da cultura, sendo determinada indiretamente através de leituras na folha diagnose de 8 plantas por parcela; c) altura de inserção de espiga na maturação da planta de milho; d) altura de plantas de soja e milho na maturação, definida como sendo a distância (m) do nível do solo ao ápice da planta; e) Número e massa seca de nódulos de cinco plantas de soja por parcela; Foram coletadas 10 plantas de soja representativas na ocasião da colheita para contagem do: f) número de vagens por planta, g) número de grãos por planta, h) altura de inserção da primeira vagem; E foram coletadas 10 espigas de milho na ocasião da colheita para contagem do: i) número de fileiras por espiga, j) número de grãos por fileira de espiga, l) número de grãos por espiga; m) prolificidade das plantas de milho da área útil da parcela; n) número de espigas por hectare, em 4 linhas úteis; o) massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01g, a 13% (base úmida); p) produtividade de grãos, determinada pela coleta das

plantas contidas nas 4 linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13% (base úmida); q) acúmulos de K e Si nos grãos, palhada e total parte aérea da soja e milho na ocasião da colheita, calculados com base nas respectivas concentrações destes elementos químicos nos grãos ou palhada e, multiplicando-se pelos valores de massa seca de grãos ou palhada, expressos em kg ha⁻¹; r) Atributos químicos do solo, ao final do cultivo de soja e milho foram amostrados 5 pontos por parcela para determinação deste nutriente conforme metodologia de Cantarella, Raij, Camargo (1997); s) eficiência agrônômica (EA) dos tratamentos, cujo cálculo é o seguinte: (produção de grãos com fertilizante - produção de grãos sem fertilizante) / (quantidade de K₂O aplicada):

Equação 1. Equação para Eficiência Agrônômica (EA) dos fertilizantes.

$$EA = \frac{(\text{Prod-Prod Controle})}{\text{Dose Prod}} * 100$$

3.5 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos aos testes preliminares de normalidade e homocedasticidade. Após isto os resultados foram analisados pela análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias das épocas de aplicação de K e de fontes de K, e ajustadas a equações de regressão linear e quadrática, quando significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, para o efeito das doses de K₂O, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Nodulação da Soja

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) das fontes e doses de fertilizantes potássicos sobre a massa seca de nódulos e massa seca da parte aérea, em ambos os anos de cultivo (Tabela 2). As fontes e épocas de aplicação de K_2O também não influenciaram ($P>0,05$) massa seca de nódulos e massa seca da parte aérea em ambos os cultivos. Houve efeito significativo da interação significativa das fontes e épocas de aplicação de fertilizantes potássio sobre a massa de nódulos do Ano 1 e no Ano 2.

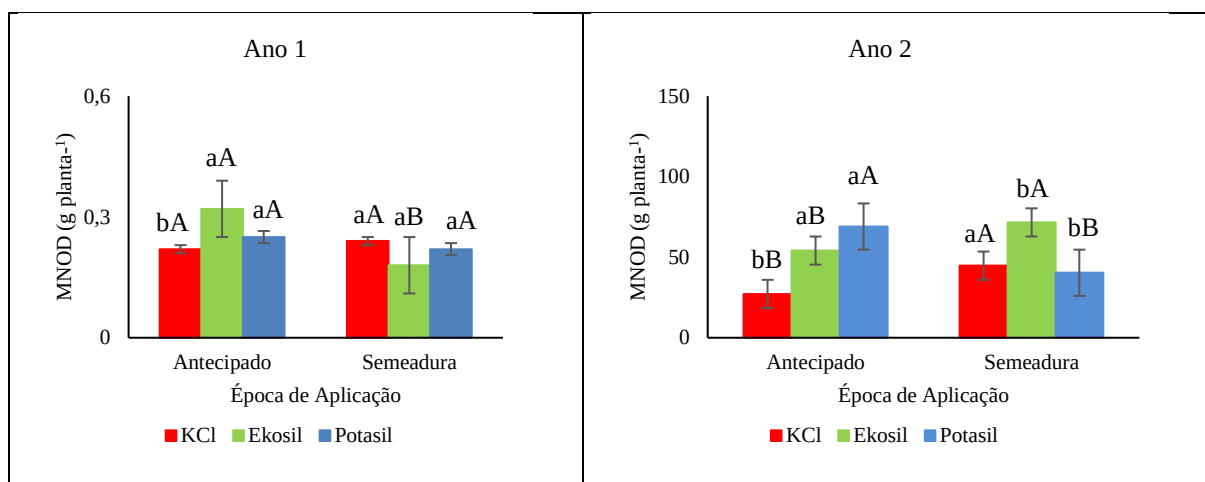
Tabela 2. Médias da massa de nódulos (MNOD) e massa seca da parte aérea (MSPA) para Ano 1 e Ano 2 de soja sob diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K_2O	Ano 1	Ano 2
	MNOD	MNOD
----- g planta ⁻¹ -----		
0	0,14	0,40
40	0,25	0,46
80	0,26	0,54
120	0,30	0,57
Fontes		
KCl	0,23	0,36
Potasil	0,24	0,55
Ekosil	0,25	0,63
Época aplicação		
Antecipado	0,26	0,50
Semeadura	0,21	0,53
Média	0,24	0,51
CV (%)	43,33	35,30

Fonte: Produção da própria autora.

A aplicação antecipada de Ekosil proporcionou maior massa de nódulos em relação a aplicação antecipada de KCl, além disso a maior massa de nódulos foi observada quando foi aplicado Ekosil antecipado em relação ao aplicado na semeadura (Figura 3).

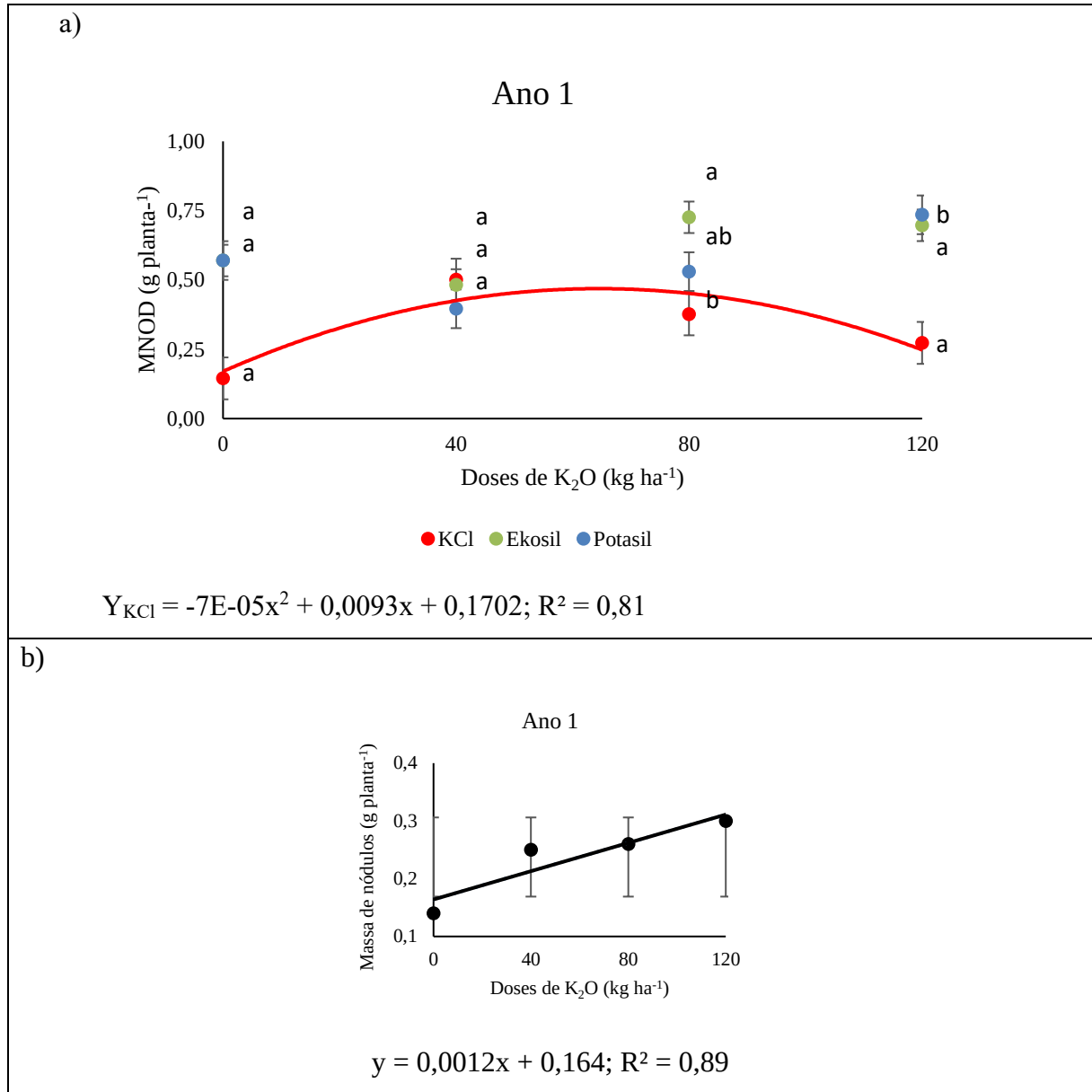
Figura 3. Médias da massa de nódulos de soja (g planta^{-1}) sob interação entre diferentes fontes e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos; Letras minúsculas distintas entre as fontes de K_2O , letras maiúsculas distintas entre épocas são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Produção da própria autora.

A maior massa de nódulos foi observada sob dose de 120 kg ha^{-1} de K_2O , sendo 114% maior em relação a não aplicação de fertilizante potássico na soja (Figura 4). O aumento da massa de nódulos pelo efeito da aplicação antecipada de K pode aumentar a atividade de rizóbios na região radicular, promovendo aumento da eficiência da fixação biológica de nitrogênio da soja (Cunha *et al.*, 2023). A maior presença de nódulos nas plantas com fornecimento de Ekosil antecipado pode estar relacionado com aumento da nodulação, um efeito antes observado sob adubação silicatada em soja, que sob efeito da adubação com Si propiciou aumento do número e massa de nódulos em relação ao não uso de Si (Steiner *et al.*, 2018). Com os resultados apresentados no presente estudo, o Potasil e o Ekosil são fertilizantes que fornecem Si, um dos efeitos observados pelo uso deste elemento benéfico em plantas de soja é o aumento do crescimento radicular e da nodulação das raízes da soja. Como o Ekosil é uma de K e Si, é possível que essa fonte tenha beneficiado a simbiose entre *Bradyrhizobium* sp. e as plantas de soja. Observou-se aumento da massa de nódulos conforme o incremento das doses de K_2O (Figura 4).

Figura 4. a) Interação entre doses x fontes de K₂O para massa de nódulos, com letras minúsculas distintas entre as fontes de K₂O se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; b) Massa de nódulos, em média, na soja em função de doses de K₂O no Ano 1.



Fonte: Produção da própria autora.

4.2 Teor de potássio, silício e sódio na folha diagnose da soja e do milho

4.2.1 Soja

Houve significância ($P < 0,05$) dos fatores isolados doses (D), fontes (F) e épocas de aplicação (E) de K₂O para a concentração foliar dos nutrientes potássio (K), além da interação entre os fatores fonte e época e interação entre Dose e época. Enquanto para os demais

nutrientes analisados – silício (Si) e sódio (Na) - não houve efeito significativo para fatores isolados e nem para a interação entre os fatores (Tabela 3).

Tabela 3. Médias da concentração foliar potássio, silício e sódio na folha diagnose na cultura da soja em diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos, - Selvíria- MS 2021/22.

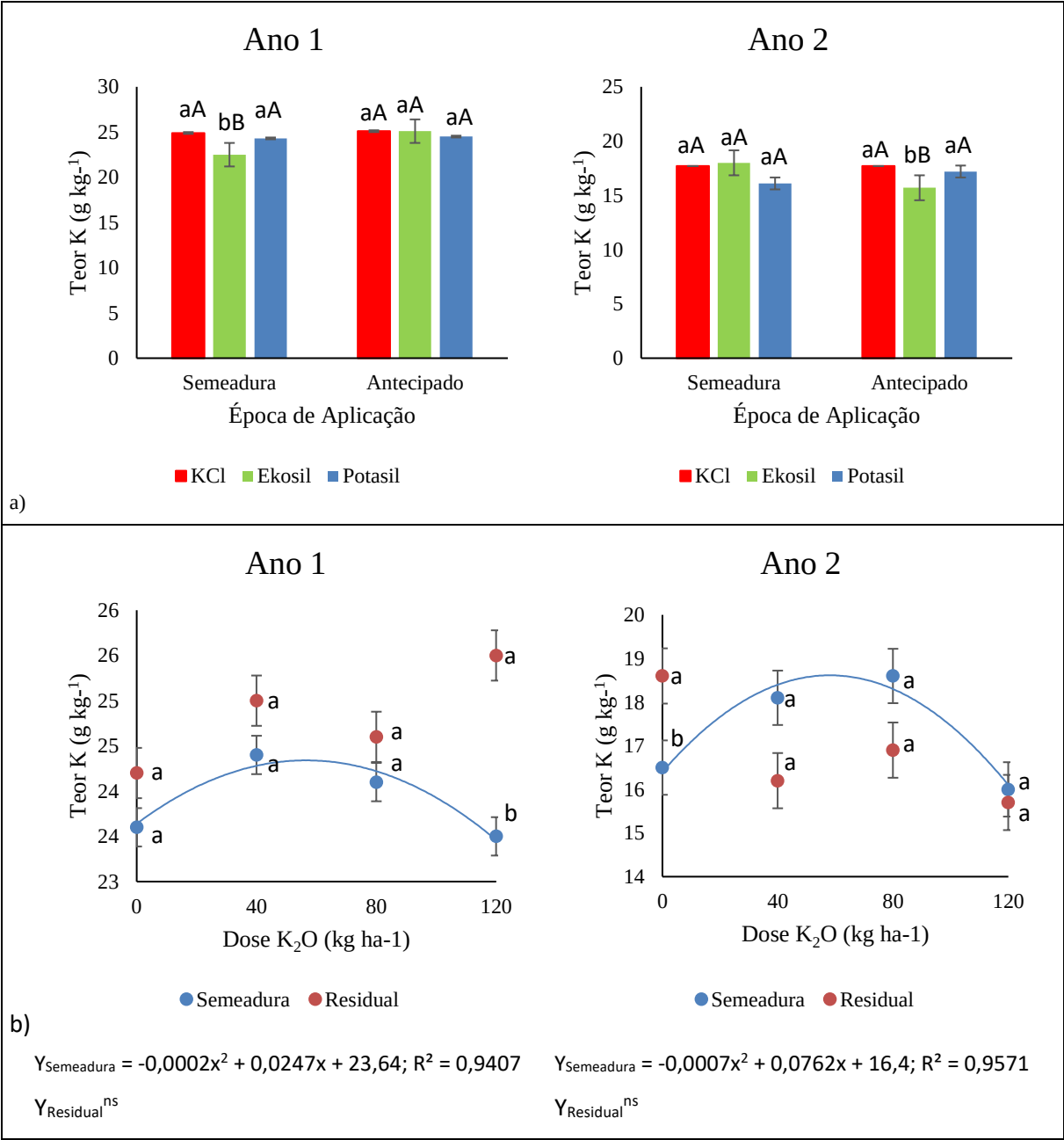
Doses de K ₂ O	Ano 1		Ano 2		
	K	Si	K	Si	Na
	----- g kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----		
0	23,9	0,2	17,5	0,57	0,83
40	24,7	0,1	17,2	0,63	0,81
80	24,4	0,2	17,8	0,62	0,84
120	24,6	0,2	15,8	0,62	0,82
Fontes					
KCl	25,0 a	0,16	17,69 a	0,63	0,81
Potasil	24,4 ab	0,16	16,69 a	0,60	0,84
Ekosil	23,8 b	0,16	16,86 a	0,60	0,82
Época de aplicação					
Semeadura	23,9 b	0,16	17,3 a	0,62	0,83
Antecipado	24,9 a	0,16	16,9 a	0,60	0,82
CV %	5,95	20,55	12,16	15,68	8,51
Média Geral	24,4	0,16	17,08	0,61	0,83

As médias seguidas de letras distintas entre as linhas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora

Para potássio na folha diagnose, houve interação significativa entre Dose e época de K₂O para o teor de potássio (Figura 5b), com ajuste a função quadrático para doses na semeadura do Ano 1 e Ano 2, com dose máxima de 61,75 e 54,43 kg ha⁻¹, respectivamente, ou seja, conforme aumenta a dose há incremento no teor de K, porém há uma dose máxima que ao ser ultrapassada tende a cair o teor de K, visto que a aplicação antecipada teve destaque, justifica-se pelo decorrer do tempo que torna possível a disponibilização de nutrientes mais eficiente quando utilizado fertilizantes de menor solubilidade (Mallarino, 2024; Bader *et al.*, 2021). Verificou-se significância para fonte e época no Ano 1 (Figura 5a), haja visto que o melhor aproveitamento do potássio se dá quando sua concentração não está tão alta no solo, o que ocorreu no Ano 1, assim, já no Ano 2, como observado por Rodrigues *et al.* (2014), notou-se uma queda e não houve diferença significativa entre as fontes de K.

Figura 5. a) Efeito significativo épocas e fontes de K₂O para o Ano 1 e Ano 2, letras minúsculas distintas entre fontes e maiúsculas distantes entre épocas diferente a 5% pelo teste F. b) Efeito significativo épocas e doses de K₂O para o Ano 1 e Ano 2, letras minúsculas distintas entre épocas diferentes a 5% pelo teste F.



4.2.2 Milho

Como consta na Tabela 4, houve efeito significativo ($P < 0,05$) para os fatores isolados dose para K, sendo observado na “Figura 6a” um ajuste linear decrescente, constando que quanto maior a dose, menor o acúmulo de K na folha diagnose; para fonte foi significativo para Si (Figura 6d) e Na (Figura 8a), evidenciando Potasil e KCl, respectivamente; e para época de aplicação (E) para K (Figura 6b), tendo destaque para semeadura no Ano 1 e residual no Ano 2, o que consta que quando há fertilidade formada há efeito significativo para se aplicar de forma antecipada e obter bons resultados na cultura sucessora, e Si (Figura 7c), tendo destaque para residual no Ano 1 e semeadura no Ano 2, visto que é uma gramínea e tem maior exigência de Si, seu comportamento tendo ao inverso, aproveitando melhor o Si residual no Ano 1 e possibilitando uma ciclagem de nutrientes no Ano 2 (Bernardi *et al.*, 2009).

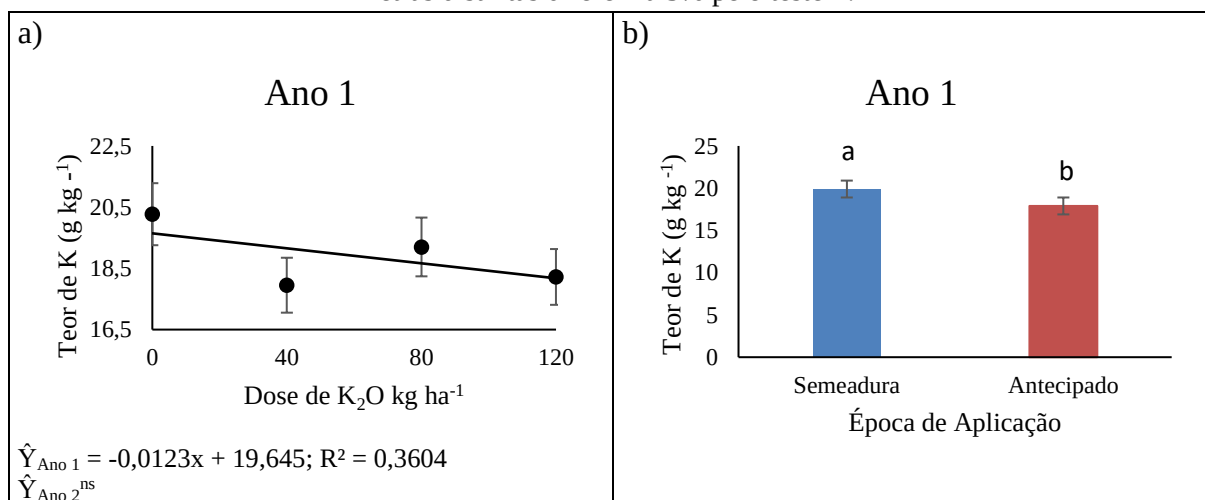
Tabela 4. Médias da concentração foliar de potássio, silício e sódio na folha diagnose da cultura do milho sob efeito residual de diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos, - Selvíria – MS.

	Ano 1			Ano 2		
Doses de K₂O (D)	K	Si	Na	K	Si	Na
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
0	20,27	1,09	0,55	19,97	5,56	1,05
40	17,95	1,13	0,57	19,15	5,96	1,03
80	19,2	1,25	0,55	18,82	5,90	1,03
120	18,22	1,15	0,61	18,16	5,70	1,06
Fontes (F)						
KCL	19,59	1,3 a	0,61 a	19,83	5,80 ab	1,10
Potasil	18,63	1,0 b	0,56 ab	17,99	5,01 b	1,01
Ekosil	18,51	1,1 ab	0,54 b	19,25	6,50 a	1,02
E						
Semeadura	19,89 a	1,04 b	0,55	18,65	5,97	1,04
Antecipado	17,94 b	1,28 a	0,59	19,40	5,59	1,04
CV %	13,72	27,53	16,54	14,01	24,09	23,64
Média Geral	18,91	1,16	0,57	19,02	5,78	1,04

As médias seguidas de letras distintas entre as linhas diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora

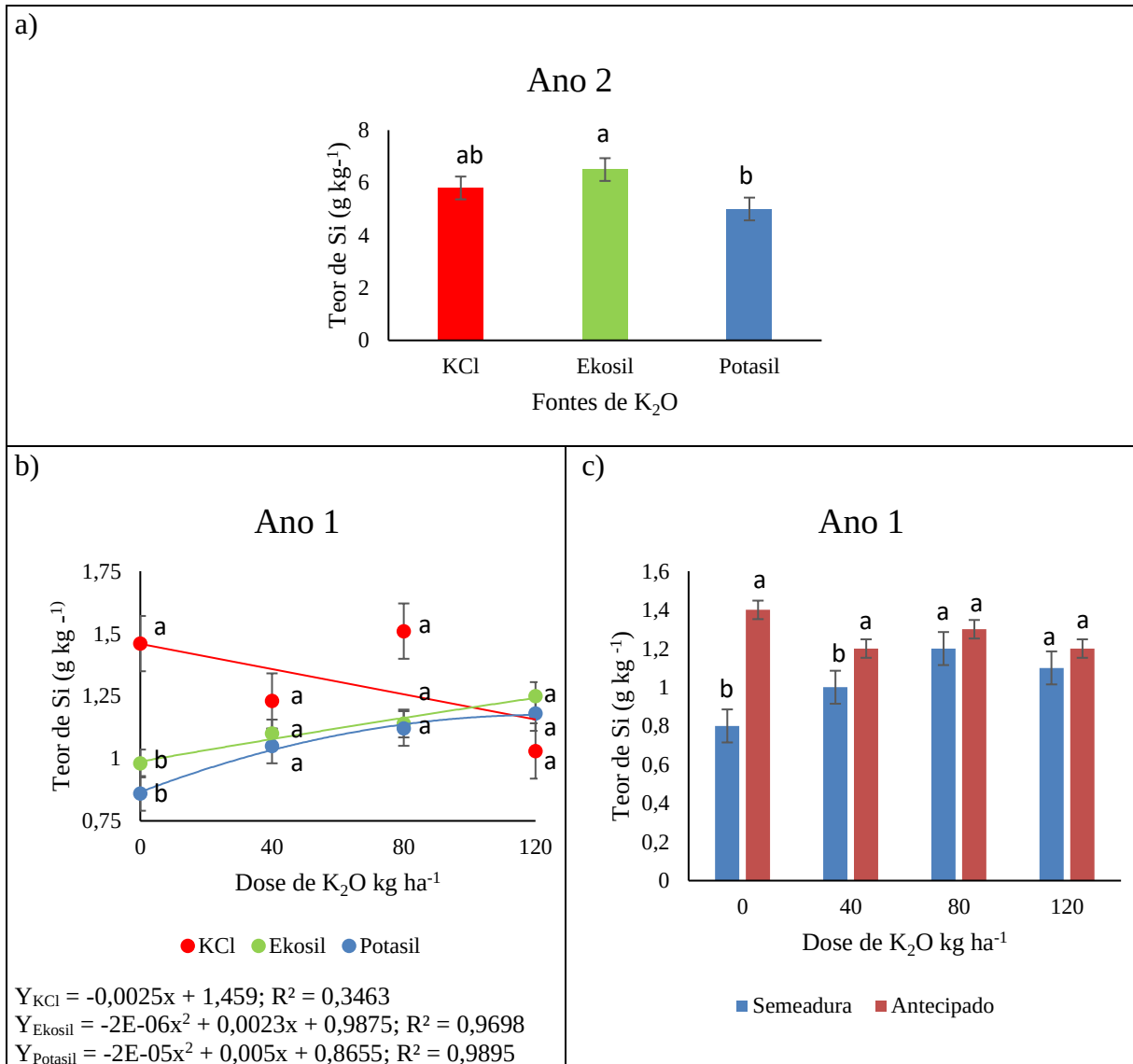
Figura 6. a) Efeito isolado doses para teor de potássio. b) Efeito isolado da época para teor de potássio, letras distintas diferem à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para a concentração Si a interação entre fonte e dose de K₂O foi significativa ($P < 0,05$), como consta na “Figura 7b”, houve ajuste linear decrescente para KCl, sugerindo que quanto maior a dose, menor o acúmulo de silício na folha, e linear crescente para Potasil e Ekosil, sugerindo que para essas fontes quanto maior a dose, maior o acúmulo do elemento na folha; não houve ajuste ($P > 0,05$) para dose de K₂O para Ano 2. Para a dose de 0 kg ha⁻¹, KCl e Ekosil foram superiores estatisticamente ao Potasil, enquanto para a 80 kg ha⁻¹ de K₂O o KCl foi superior ao Ekosil, já na dose de 120 kg ha⁻¹ o maior teor foi encontrado no Ekosil. Para a concentração Si na folha diagnose do milho, a interação entre dose e época de K₂O foi significativa (Figura 7c), onde a não houve ajuste para dose de K₂O aplicado na ocasião de semeadura, enquanto a aplicação antecipada teve um ajuste linear decrescente, ou seja, quanto maior as doses aplicadas antecipadamente menor a concentração de Si na folha diagnose no milho.

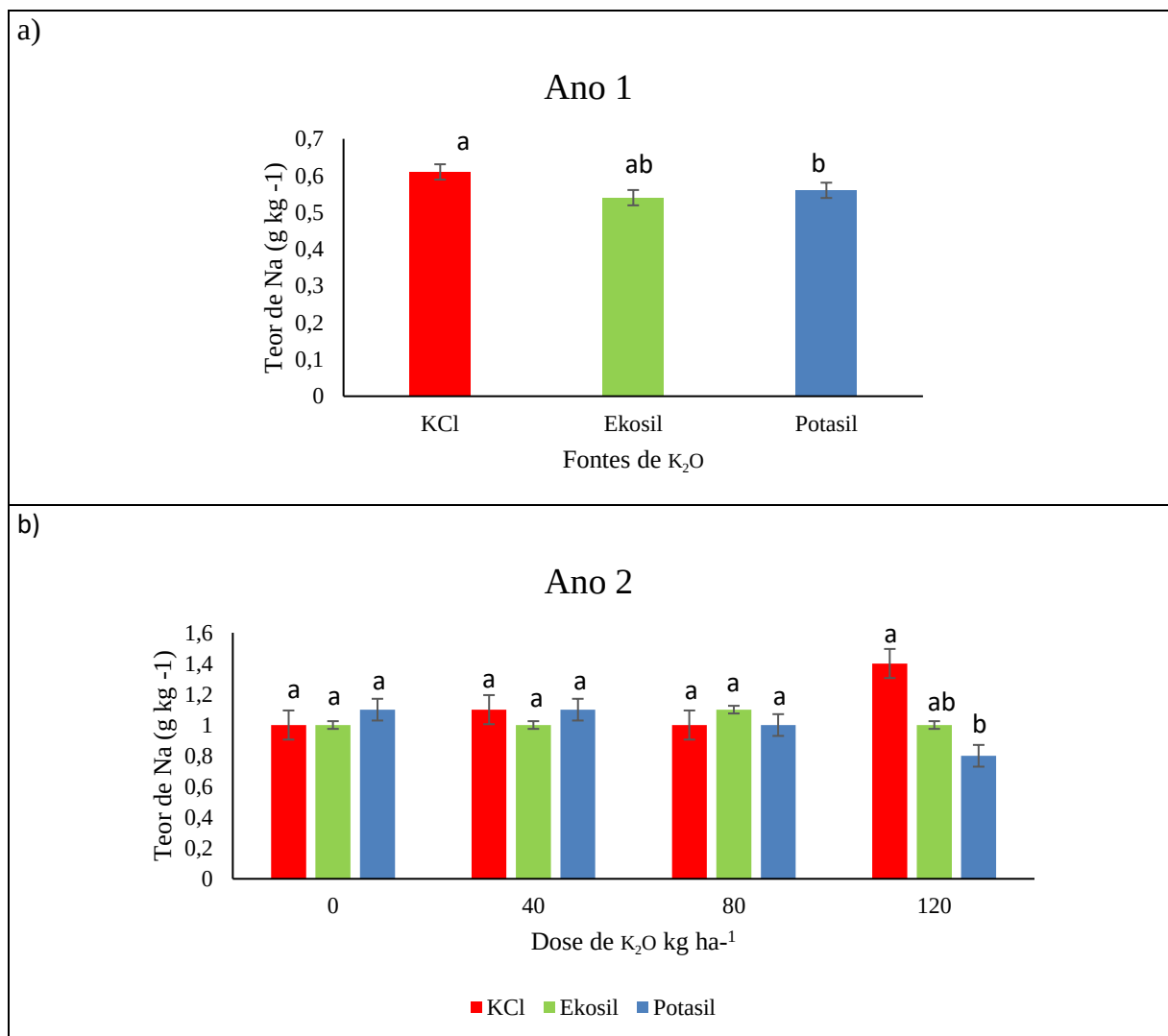
Figura 7. a) Efeito fontes para teor de silício, letras distintas diferem à 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para teor de Si, letras distintas diferem à 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para teor de Si, letras distintas diferem à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para a concentração de sódio, a interação fonte e dose de K_2O foi significativa ($P < 0,05$), como verificado na “Figura 8b”, porém não houve ajuste para dose dentro de fonte, para dose de 120 kg ha^{-1} de K_2O , o KCl tem destaque positivo quando comparado com as demais fontes. Visto que o sódio participa de funções metabólicas, quando o potássio é insuficiente, o sódio pode substituir parcialmente em algumas funções secundárias, esse resultado sugere melhor regulação osmótica, ativação de enzimas e controle do potencial hídrico (Cao *et al.*, 2020).

Figura 8. a) Efeito isolado fonte para teor de sódio, distintas diferem à 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para teor de sódio, letras distintas diferem à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.3 Componentes Biométricos

4.3.1 Soja

Não houve efeito significativos ($P>0,05$) das fontes e doses de fertilizantes potássicos sobre a massa seca da parte aérea da soja; o efeito da interação entre época e doses foi significativo para altura de plantas (Figura 9a) e para inserção da primeira vagem de soja (Figura 9d), para ambos houve ajuste linear decrescente, portanto, quanto maior a dose menor a altura. Além do afeito isolado para época na inserção de primeira vagem (Figura 9b). Houve efeito significativo para interação entre fonte e dose no quesito altura de inserção da primeira vagem, como consta a Figura 9c, com destaque para a dose de 80 kg ha^{-1} , houve ajuste para as três fontes, sendo linear decrescente para Potasil e Ekosil, quanto maior a doses, menor a altura de inserção da primeira vagem, e ajuste quadrático para KCl, sugerindo que a melhor dose é $51,33 \text{ kg ha}^{-1}$. As fontes e métodos de aplicação de K_2O não influenciaram ($P>0,05$) a altura de plantas e massa seca da parte aérea. Também houve efeito significativo ($P<0,05$) para inserção da primeira vagem na interação entre dose e época, sendo que para doses de 40 kg ha^{-1} a aplicação na semeadura se destacou e quando antecipado se destacou para a doses de 80 kg ha^{-1} , houve ajuste linear decrescente para semeadura (Figura 9d).

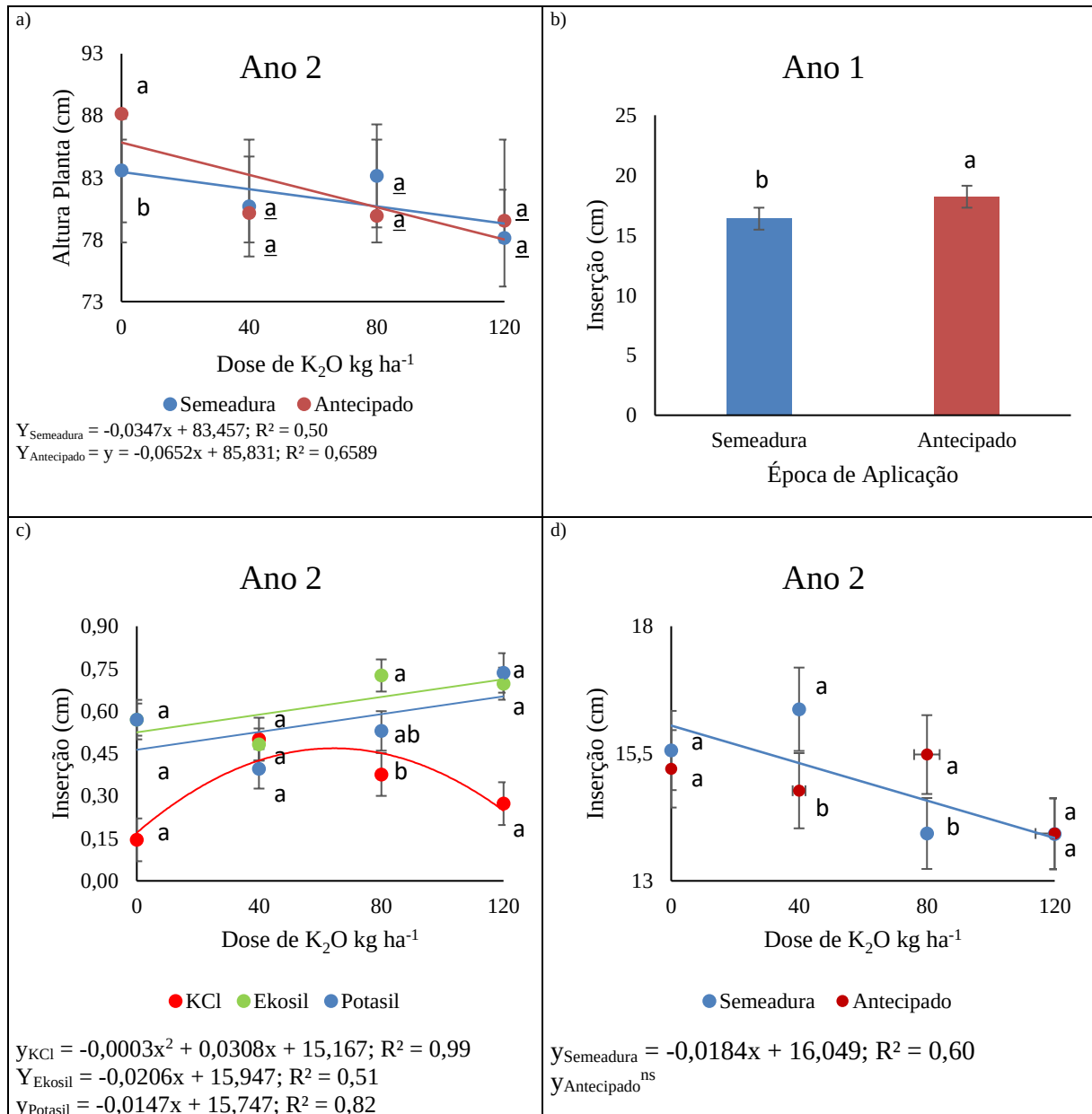
Tabela 5. Médias da massa de nódulos (MNOD), massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (Altura) e altura da inserção da primeira vagem (Inserção) de soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K_2O (kg ha^{-1})	Ano 1			Ano 2		
	MSPA	Altura	Inserção	MSPA	Altura	Inserção
	g planta ⁻¹	----- cm -----	-----	-- g planta ⁻¹ --	----- cm -----	-----
0	14,50	86,75	15,91	20,78	85,85	15,38
40	14,35	83,82	17,32	20,87	80,40	15,57
80	14,53	84,60	17,74	20,96	81,52	14,7
120	14,36	83,21	18,22	21,05	78,81	13,92
Fontes						
KCl	14,59	84,51	16,92	22,35	80,71	14,9
Potasil	14,31	84,54	17,61	20,92	81,69	14,87
Ekosil	14,40	84,74	17,36	20,12	82,54	14,91
Época aplicação						
Antecipado	14,17	84,79	18,21 a	21,56	81,92	14,84
Semeadura	14,70	84,74	16,38 b	20,69	81,37	14,94
Média	14,43	84,59	17,29	21,13	81,65	14,89
CV (%)	14,88	7,62	22,85	15,85	5,01	10,41

As médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 9. a) Interação dose e época para altura de planta, letras distintas para época à 5% pelo teste F. b) Efeito isolado da época para altura de inserção de primeira vagem, letras distintas para época à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para inserção de primeira vagem, letras distintas para fontes à 5% pelo teste F. d) Interação dose e época para inserção de primeira vagem, letras distintas para época à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.3.2 Milho

Na Tabela 6 consta que houve efeito significativo ($P < 0,05$) do fator fonte de K_2O isoladamente para a altura de plantas, com destaque para Potasil (Figura 10a); inserção da primeira espiga (IPE), com ajuste linear positivo, assim, quanto maior a dose, mais a alta a IPE.

Tabela 6. Médias de Altura, Inserção de primeira espiga, Comprimento de espiga e Número de fileiras por espiga na cultura do milho sob efeito residual de diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K_2O (kg ha ⁻¹)	Ano 1				Ano 2				
	Altura	IPE (1)	CE (2)	NFE	Altura	IPE (m)	DC	ICF	Palhada
	----- m -----		cm		----- m -----		mm		kg ha ⁻¹
0	1,84	0,76	10,9	13,83	2,11	1,06	23,5	41,0	6808
40	1,81	0,80	23,2	14,66	2,21	1,13	23,8	41,6	8132
80	1,83	0,79	22,9	15,18	2,21	1,12	24,1	39,8	7082
120	1,82	0,82	25,5	14,75	2,20	1,14	23,5	37,5	7483
Fontes									
KCL	1,81 b	0,77 b	20,02 a	14,64	2,15 b	1,11	24,51 a	40,9	6546 c
Potasil	1,85 a	0,82 a	20,98 a	14,78	2,20 a	1,14	23,40 b	38,7	8437 a
Ekosil	1,82 ab	0,79 ab	21,01 a	14,40	2,19 a	1,09	23,22 b	40,2	7146 b
Época de aplicação									
Semeadura	1,83	0,798 a	30,32	14,51 a	2,19	1,13	23,9	40,2	7352
Antecipado	1,82	0,794 a	11,01	14,75 a	2,17	1,10	23,5	39,7	7400
Média	1,83	0,79	20,62	14,61	2,18	1,11	23,71	39,96	7376
CV (%)	3,88	7,5	14,7	6,2	2,48	9,84	7,73	12,2	6,76

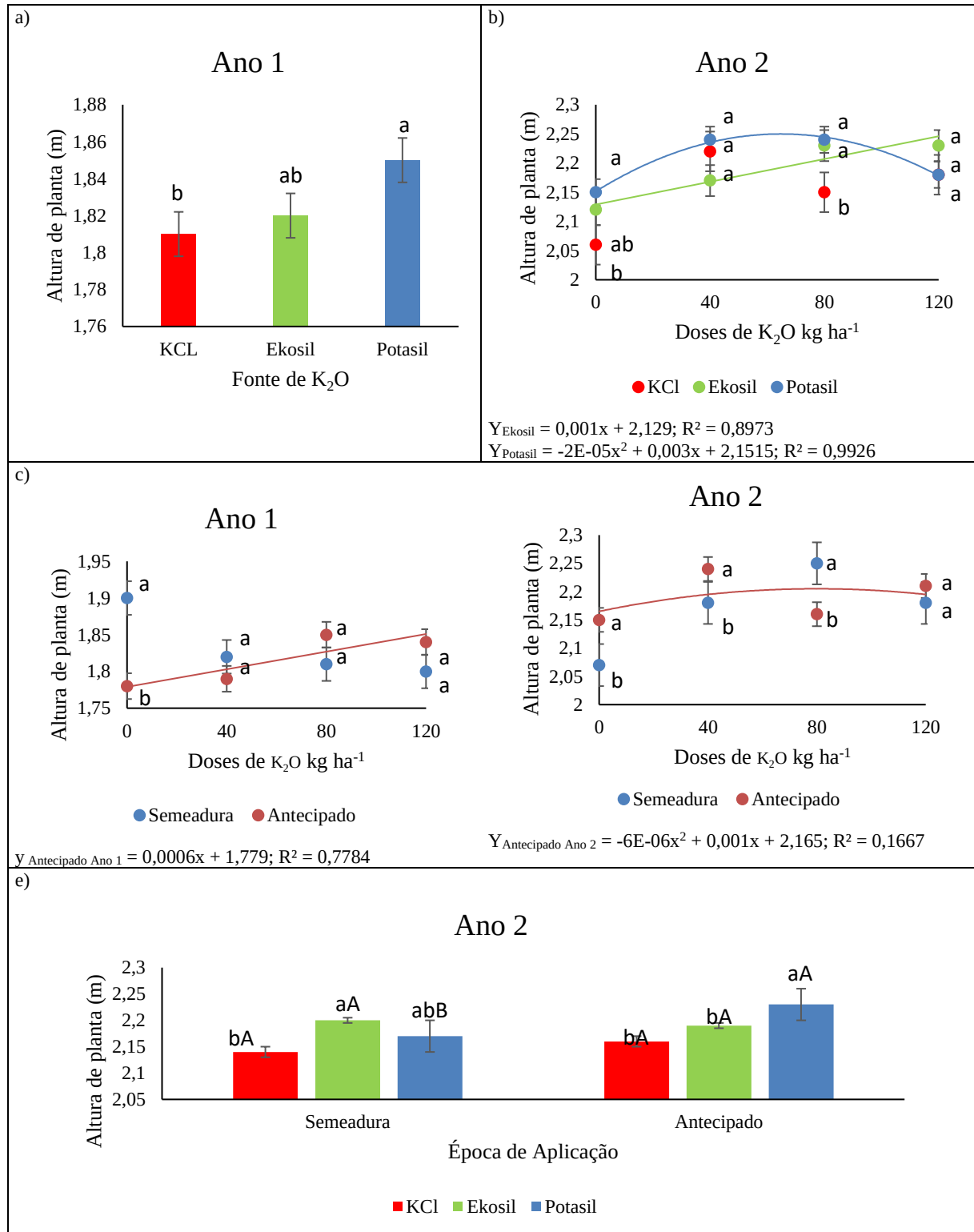
As médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey,

Fonte: Produção da própria autora.

No desdobramento da interação entre fontes e doses de K_2O , para Ekosil houve ajuste linear, ou seja, com o aumento das doses, houve um incremento na altura das plantas (Figura 9b), e ajuste quadrático para Potasil, com dose ótima de 75 kg ha⁻¹, para dose 0 kg ha⁻¹, Potasil teve destaque, com média de 2,15 metros e para dose de 80 kg ha⁻¹, Ekosil e Potasil se destacaram quando comparados ao KCl. No desdobramento da interação entre dose e época de K_2O , para à aplicação antecipada houve ajuste linear, ou seja, com o aumento das doses, houve um incremento na altura das plantas (Figura 9c) para Ano 1, enquanto para o Ano 2 o ajuste foi quadrático para aplicação antecipada, com dose estimada de 83,33 kg ha⁻¹. No desdobramento da interação entre fonte e época, para Ekosil e KCl não houve efeito significativo entre as épocas, enquanto o Potasil teve destaque na aplicação antecipada, indicando que essa precisa de mais tempo para solubilizar, quando comparada as doses dentro das fontes, na aplicação semeadura o Ekosil se destacou, e de forma antecipada Potasil se destacou (Figura 9d).

Estudos anteriores corroboram com os resultados obtidos, Fiorini *et al.* (2016) verificaram que a aplicação de doses crescentes de K_2O influenciou positivamente a altura das plantas de milho, ajustando-se a um modelo quadrático, com altura máxima estimada na dose de 82 kg ha^{-1} de K_2O . Esses resultados sugerem que diferentes fontes de potássio podem ter eficiências distintas na disponibilização do nutriente para as plantas. Ainda segundo os autores, o uso de KCl revestido tem constado efeitos positivos em parâmetros como altura de planta e inserção de espiga.

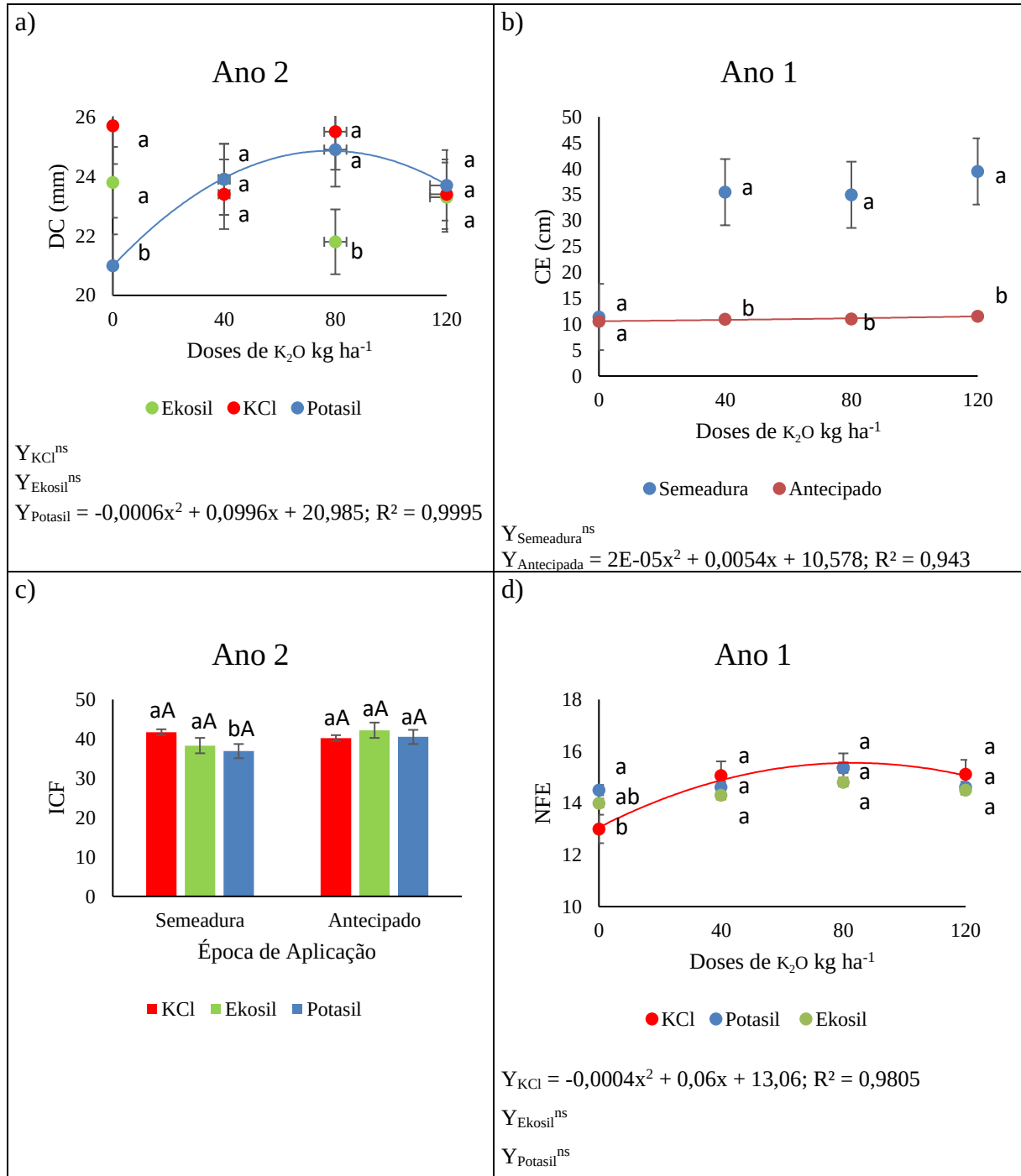
Figura 10. a) Efeito isolado de fonte para altura de planta, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para altura de planta, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para altura de planta, letras distintas para época à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e época para altura de planta, letras minúsculas distintas para fonte e maiúsculas para época à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

No desdobramento para DC da interação entre fonte e dose de K_2O (Figura 11a), para à Ekosil e KCl não houve ajuste, porém, para Potasil, notou-se ajuste quadrático com dose máxima de 83 kg ha^{-1} ; para dose 0 kg ha^{-1} , KCl e Ekosil tiveram destaque, e para dose 80 kg ha^{-1} , KCl e Potasil se destacaram. Para a variável comprimento de espiga houve interação entre os fatores dose e época de K_2O , onde no desdobramento observou-se um ajuste para a aplicação antecipada à função quadrática com ponto de máxima de $93,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 11b). Apenas na dose 0 não foi observado diferença significativa entre os modos de aplicação, nas doses de 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de K_2O a aplicação na ocasião de semeadura foi superior estatisticamente à aplicação antecipada. No desdobramento para ICF da interação entre fonte e época de K_2O (Figura 11c), não houve efeito significativo entre as épocas, quando comparada as épocas dentro das fontes, na aplicação semeadura o Ekosil e KCl se destacaram, e de forma antecipada não houve diferença significativa. O número de fileiras por espigas apresentou um efeito significativo para a interação dos fatores fonte e dose de K_2O (Figura 11d). No desdobramento houve ajuste a função quadrática com ponto de máxima de 83 kg ha^{-1} para o KCl. O NFE teve incremento de dose dos fertilizantes positivo, isso pois uma planta bem nutrida tende a ter uma melhor produção, sendo que a NFE é um componente primordial para produtividade (Uzun; Özaktan; Uzun, 2020).

Figura 11. a) Interação fonte e dose para DC, letras distintas para F à 5% pelo teste F. b) Interação Dose e época para CE, letras distintas para E à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para ICF, letras minúsculas distintas para F e maiúsculas para E à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para NFE, letras distintas para F à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

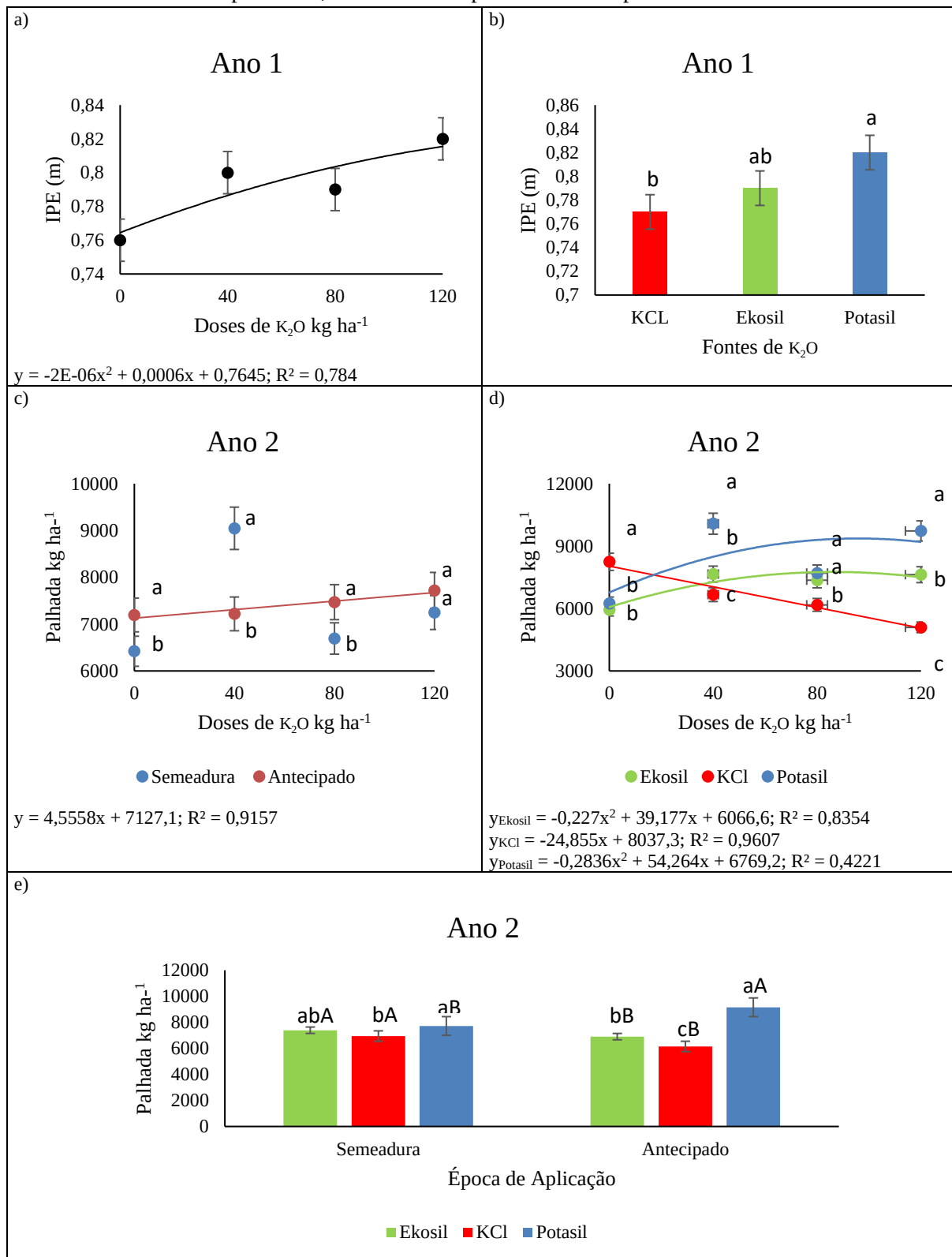
No desdobramento da interação entre dose e época de K_2O (Figura 12c), para a aplicação antecipada houve ajuste quadrático. Apenas na dose $120\ kg\ ha^{-1}$ não foi observado diferença significativa entre os modos de aplicação, nas doses de 0 e $80\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O a aplicação de

forma antecipada e na ocasião de semeadura na dose de 40 kg ha⁻¹ foi superior estatisticamente à aplicação antecipada. Na interação entre fonte e dose (Figura 12d), houve efeito significativo para dose 0 kg ha⁻¹, com destaque para o KCl, dose de 40 e 120 kg ha⁻¹ destacou se o Potasil, dose de 80 kg ha⁻¹ destacou se Ekosil e Potasil. Quanto aos efeitos de dose dentro de fonte, houve ajuste quadrático para Ekosil e Potasil, com doses máximas de 86,29 kg ha⁻¹ e 95,67 kg ha⁻¹, respectivamente, e ajuste linear decrescente para KCl, quanto maior a dose, menor a produção de palhada. No desdobramento da interação entre fonte e época de K₂O (Figura 12e), para Potasil teve destaque para semeadura e para antecipado e KCl não houve efeito significativo entre as épocas, quando comparada as doses dentro das fontes, na aplicação semeadura o Ekosil e Potasil se destacaram, e de forma antecipada Potasil se destacou.

A aplicação de fertilizantes potássicos em diferentes épocas e doses exercem uma influência significativa no desenvolvimento e na produtividade das plantas (Hasanuzzaman *et al.*, 2018), afirma que o K desempenha funções essenciais nos processos fisiológicos das plantas, processos que estão diretamente responsáveis pelo crescimento saudável e pelo aumento da produtividade, tornando o manejo adequado do potássio um fator determinante para o desempenho agrícola. Logo, a eficiência do uso de fertilizantes (EUF) é uma métrica essencial para avaliar a eficácia da adubação com o potássio (Barlóg, 2023).

A aplicação de fertilizantes em diferentes estágios de desenvolvimento das plantas desempenha um papel crucial na eficiência da absorção de nutrientes (Singh *et al.*, 2023). Sincronizar a aplicação do potássio com as fases de maior demanda nutricional das plantas é fundamental para maximizar a eficiência no uso dos fertilizantes, garantindo que os nutrientes sejam disponibilizados no momento ideal. Essa abordagem não apenas melhora a absorção e utilização do potássio, mas também contribui para o aumento da produtividade das culturas de forma mais eficiente e sustentável (Singh *et al.*, 2023).

Figura 12. a) Efeito isolado da dose para IPE. b) Efeito isolado da fonte para IPE. c) Interação dose e época para palhada, letras distintas para época à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para palhada, letras distintas para F à 5% pelo teste F. e) Interação fonte e época para palhada, letras minúsculas distintas para fonte e maiúsculas para época à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para NFE, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.4 Componentes Produtivos

4.4.1 Soja

Na Tabela 7, constatou-se aumento de 37% no número de vagens por planta conforme o aumento do fornecimento de K₂O (Figura 13a), por outro lado, a maior produtividade de grãos de soja estimada foi de 3262 kg ha⁻¹ observada na dose estimada de 78 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 13d). O K tem função fisiológica muito importante nas plantas, melhorando o balanço hídrico nas plantas, condutância estomática e reduz os efeitos de períodos de restrição hídrica, através da redução do abortamento de vagens e folhas e em consequência tendo maior número de vagens e grãos nas plantas de soja (Steiner *et al.*, 2022). Como consequência ocorre um aumento da produtividade de grãos de soja e melhora a segurança produtiva no campo (Silva *et al.* 2022).

Ainda para o NV, houve efeito significativo (P<0,01) na interação entre fonte e dose sobre a produtividade (Figura 13b), com a aplicação na semeadura o Ekosil foi superior às demais fontes de K₂O. Para a interação entre fonte e época K₂O, a aplicação de KCl em ocasião antecipada se sobressaiu à adubação semeadura se destacando quando comparada as demais F de K₂O (Figura 13c).

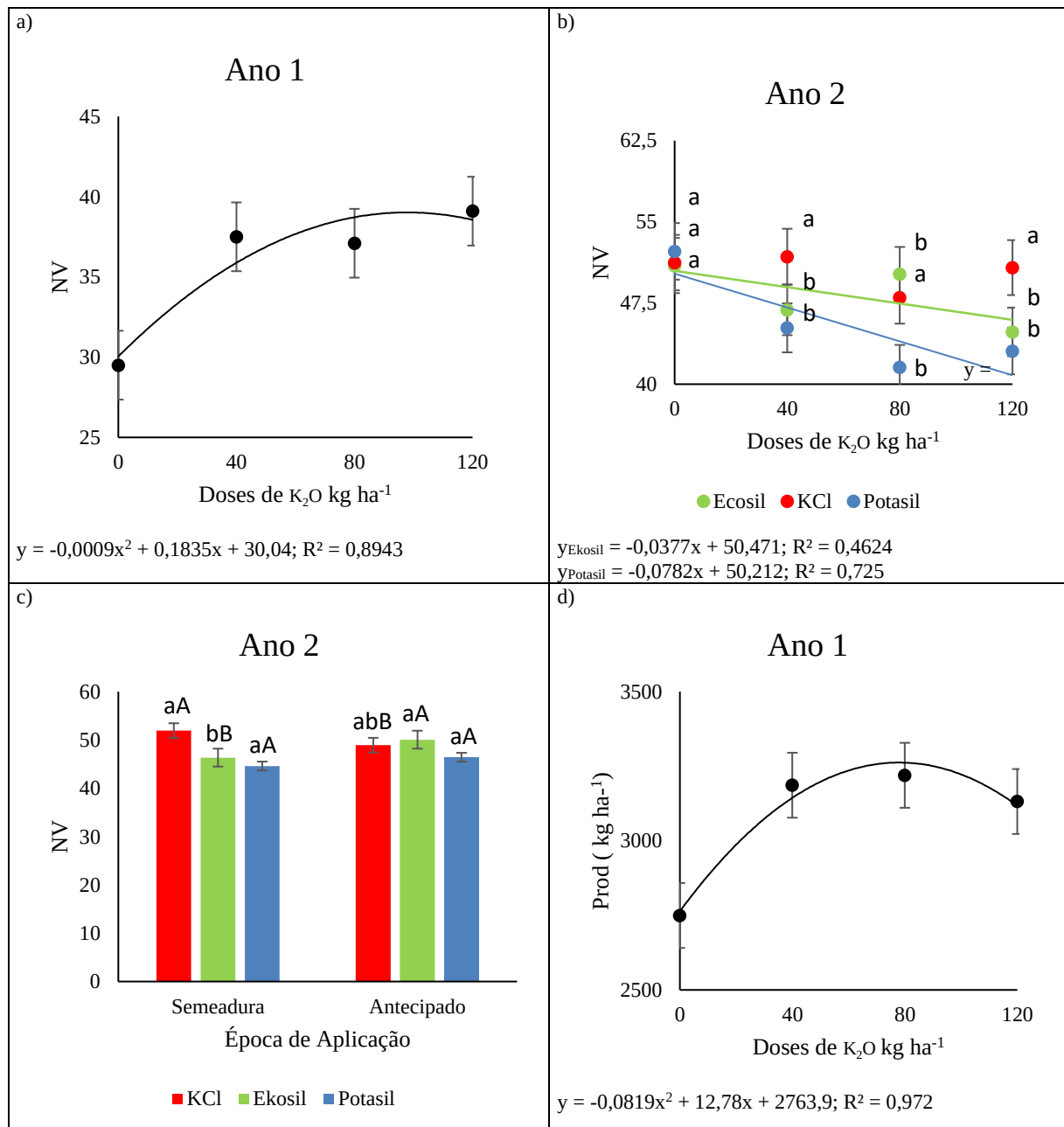
Tabela 7. Médias do número de vagens por planta (N° vagens), número de grãos por planta (N° grãos), massa de 100 grãos (M100), produtividade de grãos (PROD), palhada da colheita (Palhada) e eficiência agrônômica (AE) de soja sob diferentes fontes, Doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1			Ano 2		
	N° vagens	PROD	Palhada	N° vagens	PROD	Palhada
	n° planta ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----		n° planta ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----	
0	29,50	2749	4905	51,49	3677	5793
40	37,50	3186	4769	47,95	3919	5592
80	37,10	3219	4418	46,57	3942	5504
120	39,10	3132	4699	46,22	4025	5186
Fontes						
KCl	35,20	3028	4724	50,44 a	3880	5738
Potasil	35,70	3074	4635	45,52 c	3945	5442
Ekosil	36,50	3112	4734	48,21 b	3996	5376
Época apl.						
Antecipado	35,80	3096	4646	48,47	3984	5666
Semeadura	35,80	3047	4750	47,64	3897	5371
Média	35,80	3071	4698	48,06	3940	5519
CV (%)	17,53	8,60	13,90	7,22	10,72	14,2

As médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 13. a) Efeito isolado da dose para NV. b) Interação fonte e dose para palhada, letras distintas para fonte à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para palhada, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época à 5% pelo teste F. d) Efeito isolado das doses para Prod.



Fonte: Produção da própria autora.

As fontes e épocas de K₂O não influenciaram ($P>0,05$) a massa de 100 grãos de soja. Houve efeito significativo ($P<0,01$) na interação entre doses e fontes sobre a massa de 100 grãos (Tabela 8; Figura 14). O K tem função fisiológica muito importante nas plantas, melhorando o balanço hídrico nas plantas, condutância estomática e reduz os efeitos de períodos de restrição hídrica, com redução do abortamento de vagens e folhas (Steiner *et al.*, 2022), como consequência ocorre aumento da produtividade de grãos de soja e melhora a capacidade produtiva no campo, o que também foi observado no trabalho de Silva *et al.* (2022). Visto que, o K em excesso acaba competindo com a absorção de Ca, que faz parte da formação de parede celular, e de Mg, íon central da clorofila e, assim como o K, importante ativador enzimático, e que participa do enchimento de grãos (Prado, 2010).

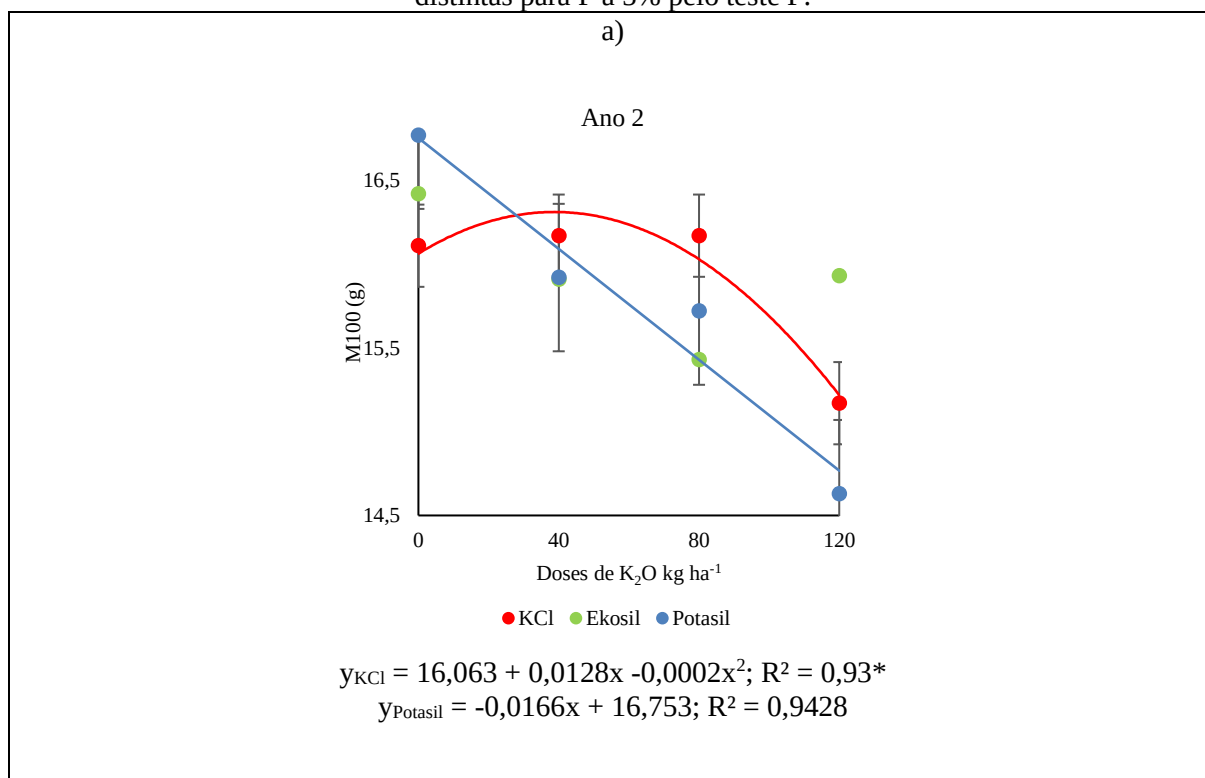
Tabela 8. Médias da quantidade de grãos por planta (grãos) e massa de 100 grãos (M100) de soja sob diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Ano 1		Ano 2	
	Grãos nº planta ⁻¹	M100 g	Grãos nº planta ⁻¹	M100 g
0	147,6	15,7	111,7	16,4
40	144,4	15,1	106,3	16,0
80	140,5	15,2	108,1	15,7
120	142,0	15,3	103,8	15,2
Fontes				
KCl	144,8	15,3	110,7	15,8
Potasil	139,2	15,2	105,4	15,5
Ekosil	146,9	15,5	103,6	15,8
Épocas				
Antecipado	142,5	15,3	107,2	15,9
Semeadura	144,7	15,3	105,8	15,3
Média	143,6	15,3	106,5	15,7
CV (%)	18,51	6,53	16,76	4,36

As médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 14. Massa de 100 grãos na soja em função de doses de K₂O na safra Ano 2, letras minúsculas distintas para F à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.4.2 Milho

Para o número de grãos por espiga (NGE) houve ajuste à função linear crescente para doses de K₂O (Tabela 9; Figura 15a). Ocorreu também a interação entre os fatores fonte e época de K₂O (Figura 14b). Houve interação entre os fatores dose e época de K₂O para a variável diâmetro de espiga (Tabela 9; Figura 15b). No primeiro ano de milho, a massa de 100 grãos apresentou uma interação significativa para os fatores fonte e dose de adubos potássicos (Figura 15c). Verificou-se aumento linear da massa de 100 grãos de com o aumento da adubação potássica, maior massa de 100 grãos com o uso de Ekosil, assim como foi superior com aplicação antecipada dos adubos potássicos. No segundo ano de milho, para produtividade foi significativo para dose de potássio (Tabela 9; Figura 15d), com ajuste quadrático e melhor dose residual estimada de 63,35 kg ha⁻¹ de K₂O, obtendo produtividade de 6292 kg ha⁻¹.

No desdobramento de fonte e época de K₂O para número de grãos não houve diferença significativa dentre os tratamentos época dentro de fonte. Em ocasião de adubação de semeadura o melhor efeito residual foi encontrado do Ekosil, onde diferiu estatisticamente do KCl. O NGE com o aumento das doses de K₂O ocorreu um incremento, resultados parecidos

com o trabalho realizado por Silva (2010), onde também foi testando doses de fertilizantes potássicos.

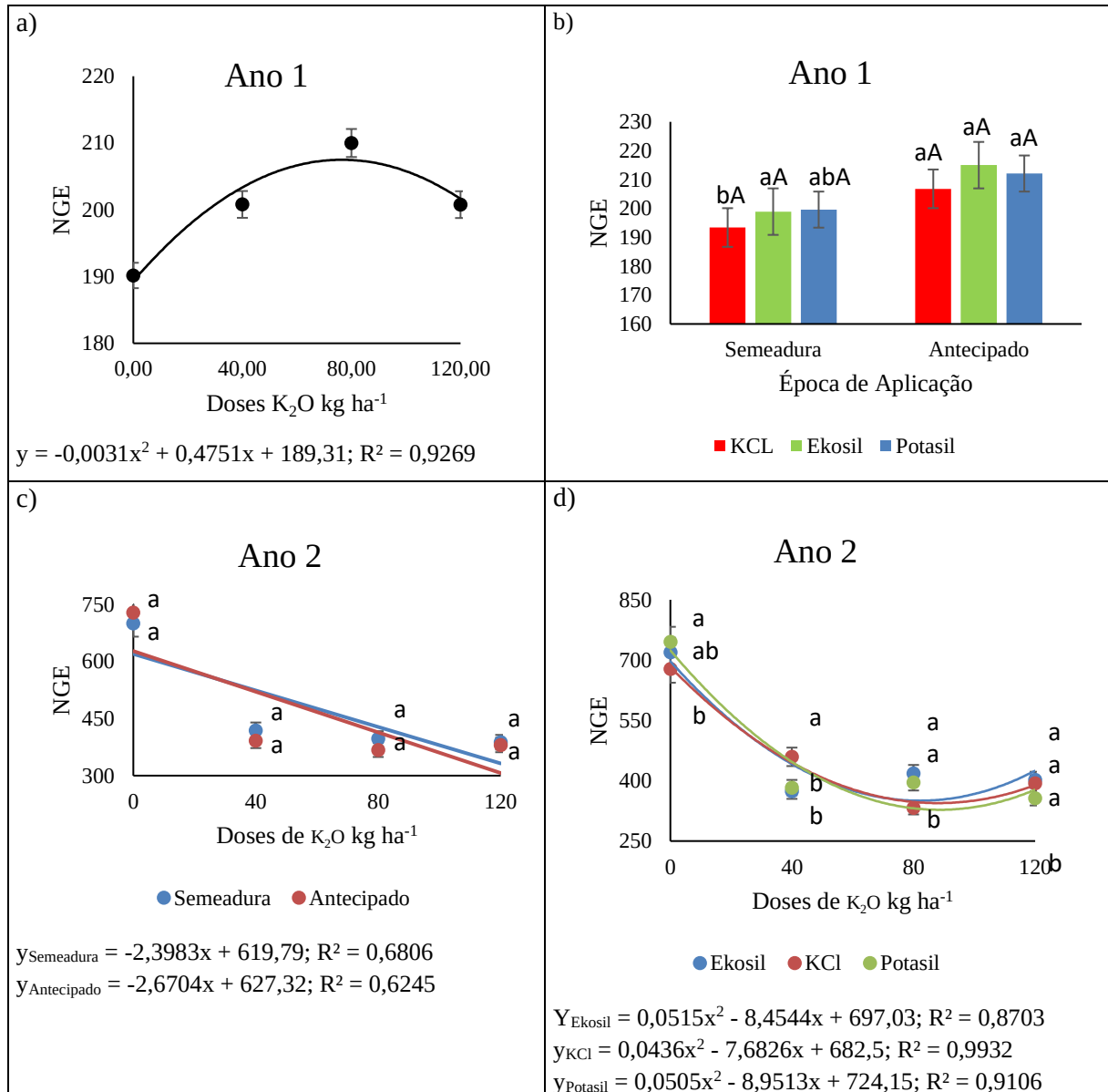
Tabela 9. Médias de Número de grãos por espiga, Diâmetro da espiga, Massa de 100 grãos e Produtividade de grãos de milho sob efeito residual de diferentes fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos, Selvíria- MS 2021/22.

	Ano 1				Ano 2	
Fontes (F)	NGE (1)	DC	M 100	Produtividade	NGE (1)	Produtividade
		mm	g	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹
KCl	200,0	12,6	18,1	2508 a	465,9	5918 b
Potasil	202,5	12,0	18,7	2593 a	470,1	5914 b
Ekosil	200,6	12,1	19,0	2631 a	478,4	6289 a
Doses (D)						
0	190,1	12,9	18,5	2431	714,32	5679
40	200,8	11,8	18,5	2565	405,34	6560
80	210,0	12,3	18,4	2665	382,19	5920
120	200,7	12,1	19,1	2649	384,13	6003
Época (E)						
Semeadura	200,2	12,2	18,5 a	2554 a	475,8	6059
Antecipado	200,5	12,3	18,8 a	2601 a	467,1	6022
Média	201	12,2	18,7	2590	471,5	6040
CV	12,2	10,0	8,0	11,2	8,33	9,66

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey,

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 15. a) Efeito isolado dose para NGE. b) Interação fonte e época para NGE, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para épocas à 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para NGE, letras minúsculas distintas para épocas à 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para NGE, letras minúsculas distintas para fonte à 5% pelo teste F.

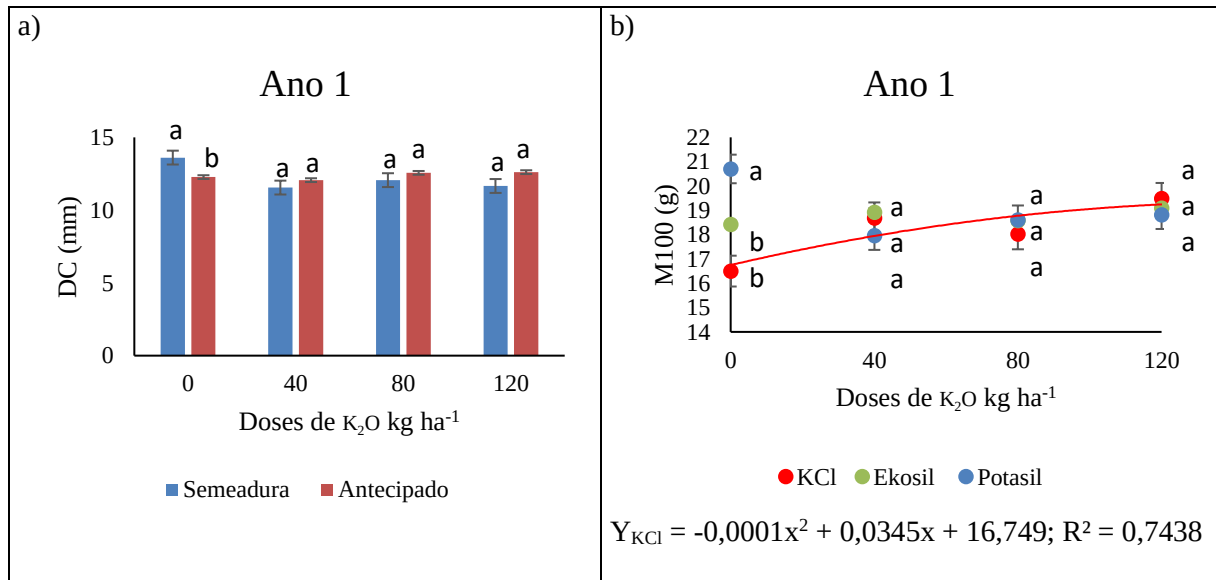


Fonte: Produção da própria autora.

Não houve ajuste para época dentro das doses tanto em ocasião de semeadura quanto antecipado para a variável diâmetro de espiga (Figura 16a). Para a massa de 100 grãos, houve ajuste linear crescente para o adubo KCl, onde quanto maior a dose do fertilizante, maior a massa dos 100 grãos (Figura 16b), não houve ajuste para o Potasil e Ekosil. A massa de 100 grãos, uma variável de extrema importância para a produtividade, no presente trabalho foi diretamente influenciada pelas doses e fontes de K_2O , onde os melhores resultados na dose de

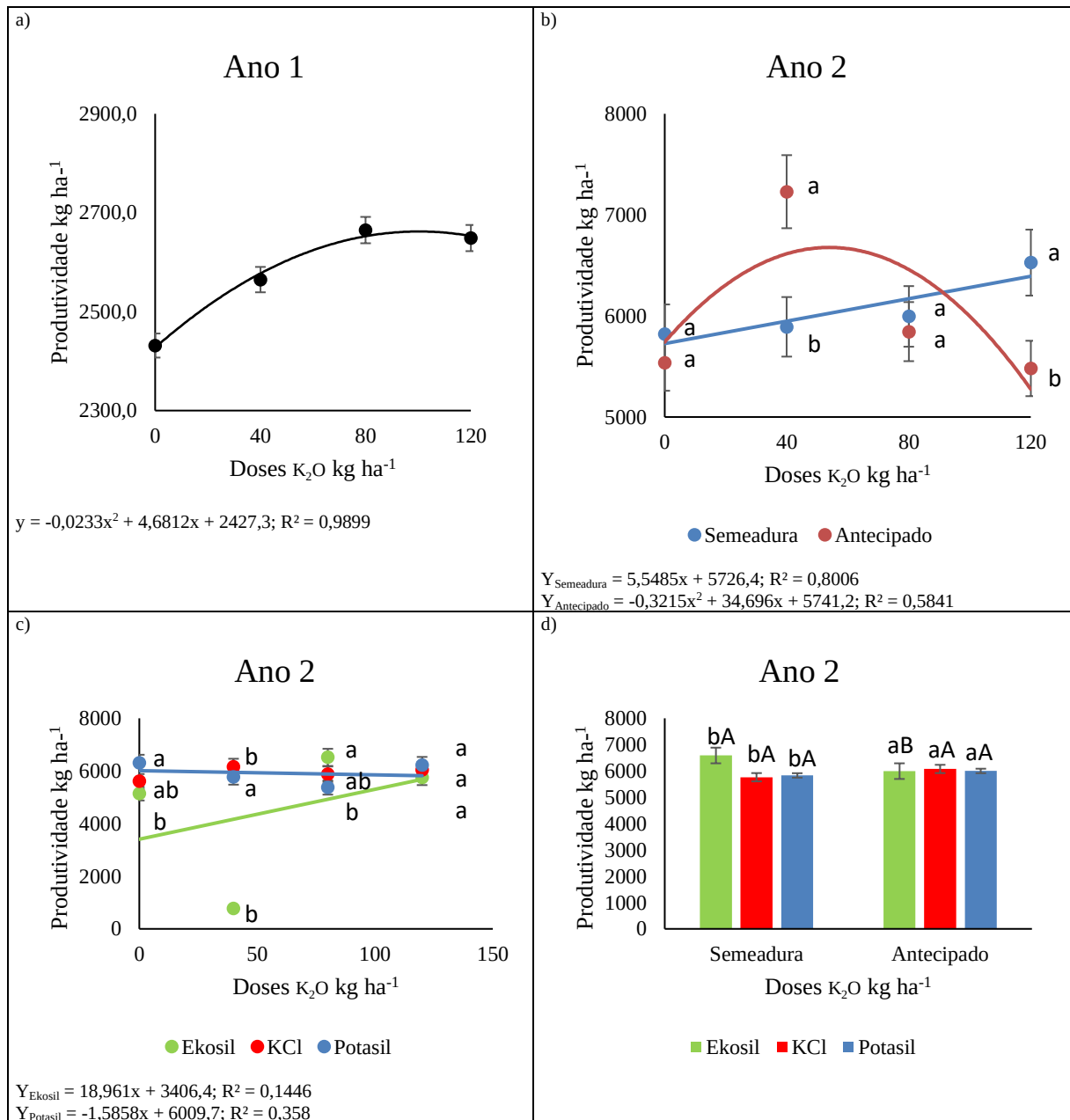
120 kg ha⁻¹ de K₂O na fonte de Ekosil na mesma dosagem na semeadura, resultados que corroboram com o de Silva (2010), esses resultados indicam que o fonolito pode ser utilizado como fonte de K para a cultura do milho, com efeito bem semelhante ao KCl.

Figura 16. a) Interação dose e época com letras distintas para épocas a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose com letras distintas para fontes a 5% pelo teste F



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 17. a) Interação dose e época com letras distintas para épocas a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose com letras distintas para fontes a 5% pelo teste F



Fonte: Produção da própria autora.

4.5 Eficiência Agronômica

4.5.1 Soja

A maior eficiência agronômica, 42,73%, foi observada sob dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O, tanto na fonte Ekosil quanto Potasil aplicada de forma antecipada e na semeadura em relação as mesmas fontes e métodos de aplicação nas doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O (Tabela 10; Figura 18a), enquanto para o KCl foi superior na dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O quando aplicado na semeadura. Desta forma, é possível identificar a dose com maior eficiência produtiva e reduzir a quantidade de fertilizantes aplicados no cultivo de soja, por outro lado, as fontes de K₂O que contêm Si em sua formulação aumentaram a eficiência agronômica na dose de 40 kg ha⁻¹, tanto o Ekosil quando aplicado antecipadamente como o Potasil quando aplicado na semeadura. O aumento da eficiência agronômica com uso de Si na adubação também foi antes relatado no cultivo de trigo e milho (Galindo *et al.*, 2021), porém com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio.

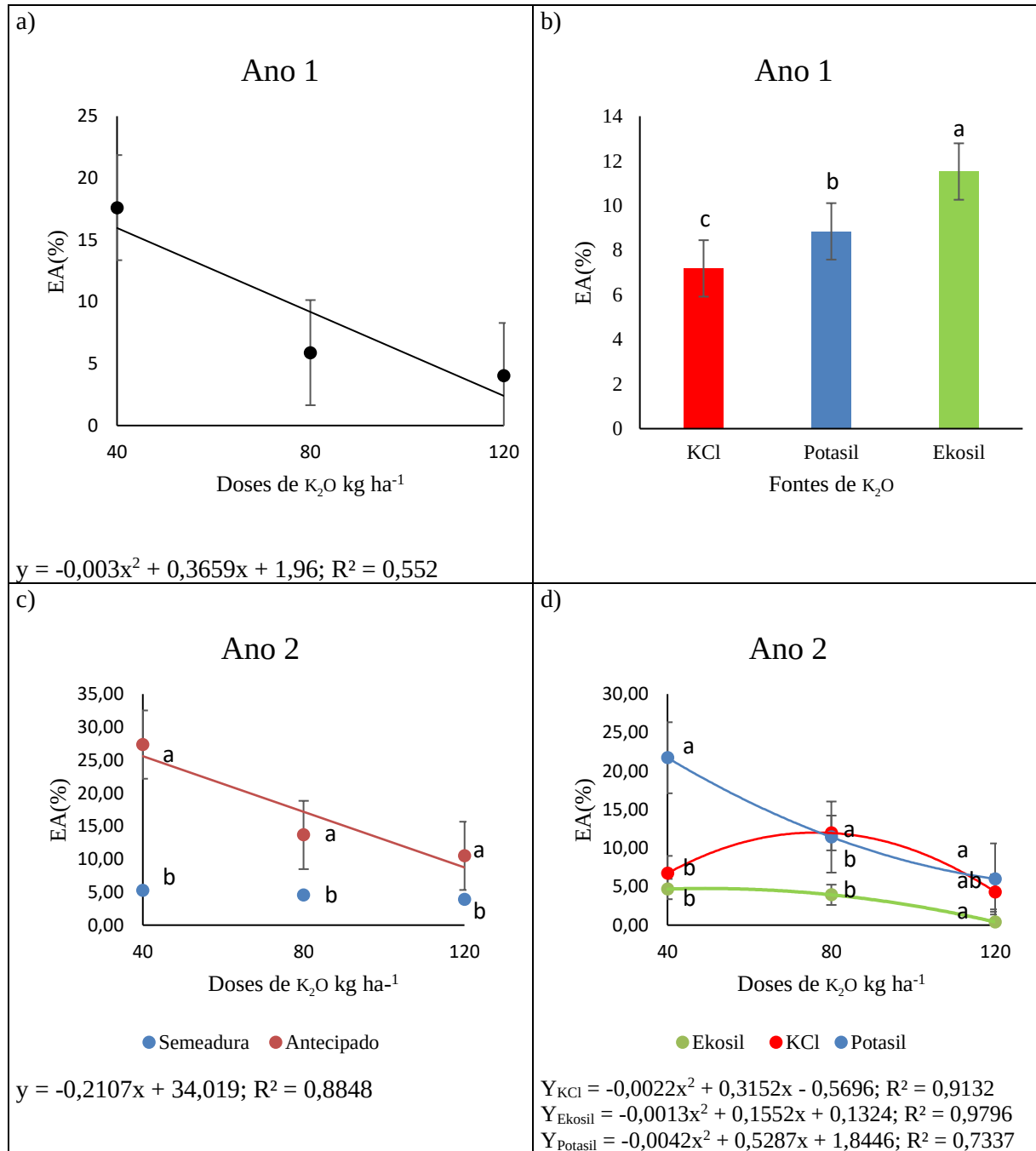
Tabela 10. Médias da eficiência agronômica (EA) de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K₂O	Ano 1 Soja EA %	Ano 2 Soja EA %
0	-	-
40	17,61	42,73
80	5,89	18,39
120	4,04	14,64
Fontes		
KCl	7,18	19,28
Potasil	8,84	14,70
Ekosil	11,52	22,83
Épocas apl.		
Antecipado	9,37	17,59
Semeadura	8,99	20,29
Média	9,18	18,93
CV (%)	40,14	19,12

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey,

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 18. a) Efeito isolado das doses para EA. B) Efeito isolado das fontes para EA com letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para EA com letras distintas para época a 5% pelo teste F. d) Interação entre fonte e dose para EA, letras distintas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.5.2 Milho

Observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) para eficiência agrônômica (Tabela 11), sendo para doses foi de 22,03%, foi observada sob doses de 40 kg ha⁻¹ de K_2O , com ajuste quadrático

negativo. Para fonte, obteve destaque para Ekosil, com média de 21,9% (Figuras 19a) e ao analisar as épocas houve destaque para aplicação antecipada, com média de 11,4%.

Tabela 11. Médias eficiência agronômica (EA) de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1 Milho	Ano 2 Milho
	EA %	EA %
0	-	-
40	3,3	22,0
80	2,9	3,0
120	1,8	2,7
Fontes		
KCl	1,3 c	5,2 b
Potasil	2,7 b	6,4 b
Ekosil	3,3 a	21,9 a
Épocas apl.		
Antecipado	2,8 a	11,4 a
Semeadura	2,0 a	2,4 b
Média	2,5	6,9
CV (%)	52,10	138,81

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

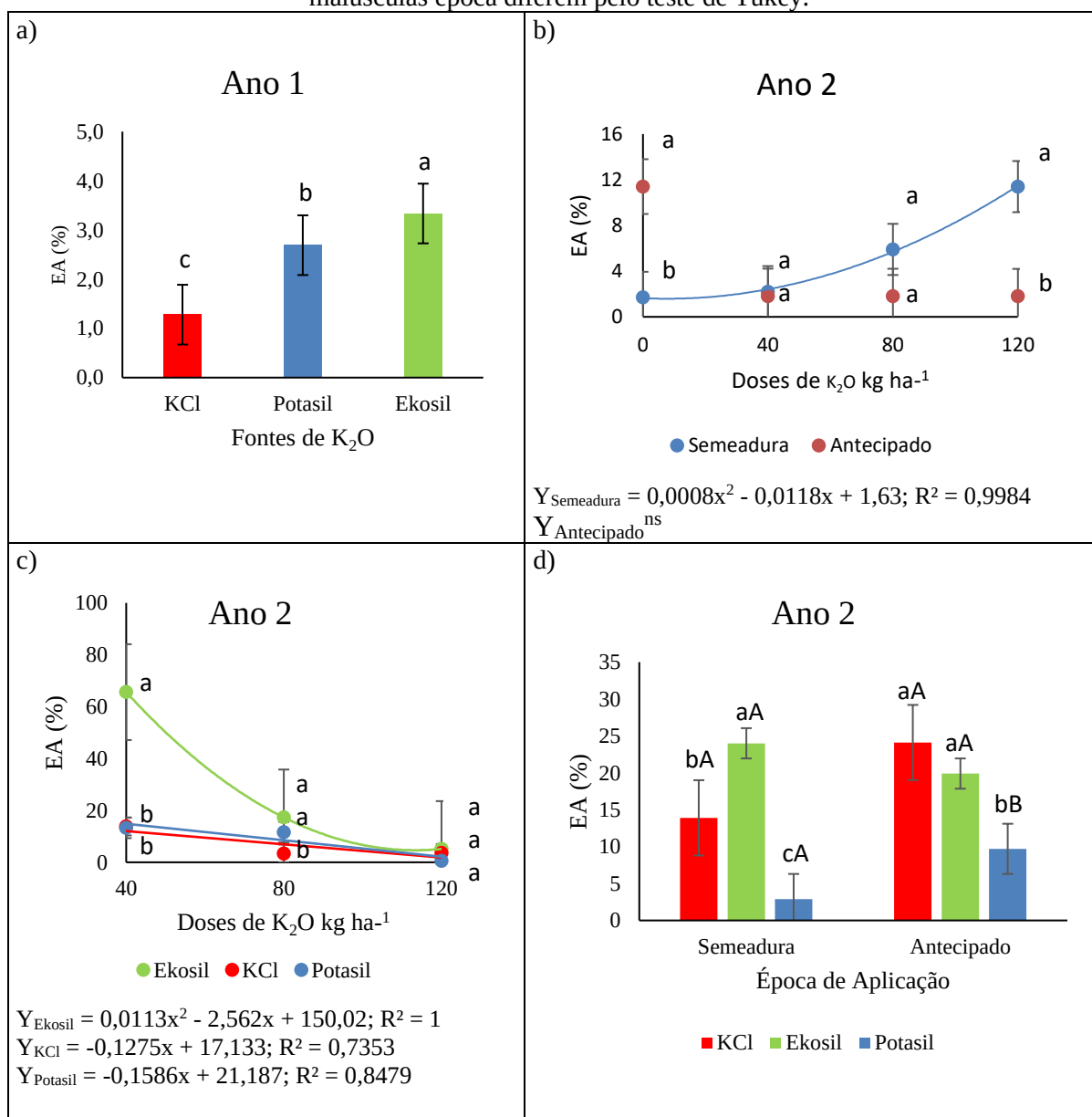
No desdobramento da interação entre dose e época de K₂O (Figura 19b), a qual consta que para dose 0 kg ha⁻¹, a aplicação antecipada se destaca, enquanto para dose 120 kg ha⁻¹ a aplicação na semeadura se destaca; Ekosil e Potasil se destacaram quando comparados ao KCl para à aplicação antecipada houve ajuste quadrático. Esses resultados indicam que a sincronização entre a aplicação e a demanda das plantas por potássio pode melhorar a eficiência de uso do nutriente, corroborando estudos prévios que destacam a importância do manejo adequado do K₂O em sistemas agrícolas (Liu *et al.*, 2024; Yin *et al.*, 2023). Essa superioridade pode ser atribuída à composição diferenciada dessas fontes, que apresentam maior solubilidade e liberação gradual do nutriente, características que aumentam a disponibilidade de K no solo (Shanmugavel *et al.*, 2023; Mendes *et al.*, 2016).

No desdobramento da interação entre fonte e dose de K₂O (Figura 19c), para dose de 40 kg ha⁻¹ o Ekosil se destacou com média de 65,6% de EA, para dose de 80 não houve efeito significativo entre Ekosil e Potasil, que obtiveram mais efeitos efeito quando comparados ao KCl, já quando observado o efeito de fonte dentro de dose, o Ekosil obteve ajuste quadrático e ajuste linear decrescente para KCl e Potasil. Esses resultados sugerem que o Ekosil é mais

eficiente em doses moderadas, enquanto o desempenho de KCl e Potasil pode ser prejudicado pela fixação de potássio no solo em doses mais elevadas, como relatado por He *et al.* (2022).

No desdobramento da interação entre fonte e época de K_2O (Figura 19d), para Ekosil não houve efeito significativo entre as épocas, enquanto o KCl e Potasil teve destaque na aplicação antecipada e semeadura, respectivamente, quando comparada às fontes de época, na aplicação semeadura o Ekosil se destacou, e de forma antecipada Ekosil e KCl se destacaram. Considerando o efeito das fontes dentro das épocas, o Ekosil mostrou superioridade na semeadura, enquanto na aplicação antecipada Ekosil e KCl tiveram destaque. Esses resultados reforçam que a escolha da fonte e da época deve ser baseada nas características específicas do fertilizante e nas condições edafoclimáticas (He *et al.*, 2022). A variabilidade na eficiência entre fonte e época pode estar relacionada às diferenças na dinâmica do potássio no solo, como lixiviação e adsorção, além da sincronização entre a liberação do nutriente e as necessidades das culturas. Estudos adicionais são necessários para compreender como esses fatores influenciam a disponibilidade e a absorção de potássio, especialmente em sistemas de alta produtividade.

Figura 19. a) Efeito isolado das fonte para EA. B) Interação dose e época para EA com letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para EA com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F. d) Interação entre fonte e época para EA, letras minúsculas distintas para fonte e maiúsculas época diferem pelo teste de Tukey.



Fonte: Produção da própria autora.

4.6 Acúmulo de Nutrientes na Palhada

4.6.1 Macronutrientes na Soja

Segundo a Tabela 12, houve ajuste de dose para N, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 69,70 kg ha⁻¹; para fonte não houve significância. Segundo a Tabela 12, houve ajuste de dose para P, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 72,55 kg ha⁻¹ para Ano 1; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada.

Segundo a Tabela 12, houve ajuste de doses para K, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 73,53 kg ha⁻¹. Segundo a Tabela 12, houve ajuste de dose para Ca, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 76,17 kg ha⁻¹; para fonte não houve significância. Segundo a Tabela 12, houve ajuste de dose para Mg, com ajuste na função quadrática e dose máxima de ajuste quadrático no Ano 2 com dose ótima de 76,79 kg ha⁻¹; para fonte não houve significância; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada, para magnésio não houve efeito significativo nas interações. Segundo a Tabela 12, houve ajuste de doses para S, com ajuste na função linear negativa para Ano 1 e positiva para Ano 2.

Tabela 12. Médias para os macronutrientes na palhada de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1 Soja						Ano 2 Soja					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹											
0	25,8	10,3	107,2	34,7	17,3	10,5	121,9	19,4	84,4	37,6	28,9	12,6
40	26,8	7,2	114,6	38,2	22,8	8,4	160,8	25,3	99,9	53,0	36,5	14,9
80	25,8	7,7	111,6	37,8	21,9	8,7	152,4	24,1	99,4	48,4	36,7	15,5
120	27,3	8,1	108,9	37,8	22,9	8,3	144,0	23,9	95,9	49,1	35,5	15,7
Fontes												
KCl	28,5	9,4 a	120,6 a	39,9	22,5	9,7	143,5	22,9	93,2	46,2	33,2	14,3
Potasil	24,8	7,8 b	103,2 b	35,6	20,9	8,5	149,2	24,1	100,5	49,4	36,6	15,2
Ekosil	26,0	7,9 b	108,0 b	35,9	20,2	8,6	141,8	22,6	91,1	45,5	33,4	14,6
Épocas apl.												
Antecipa do	26,3	8,1	112,5	39,2 a	22,5	8,7	154,1 a	24,5 a	101,4 a	52,7 a	36,6 a	15,6 a
Semeadura	26,4	8,6	108,7	35,0 b	19,9	9,2	135,5 b	21,9 b	88,4 b	41,4 b	32,2 b	13,8 b
Média	26,44	8,34	110,6	37,14	21,2	8,97	144,8	23,19	94,9	47,0	34,4	14,69
CV (%)	21,79	23,72	16,01	20,94	27,3	24,3	19,05	15,16	17,66	24,0	21,0	18,41

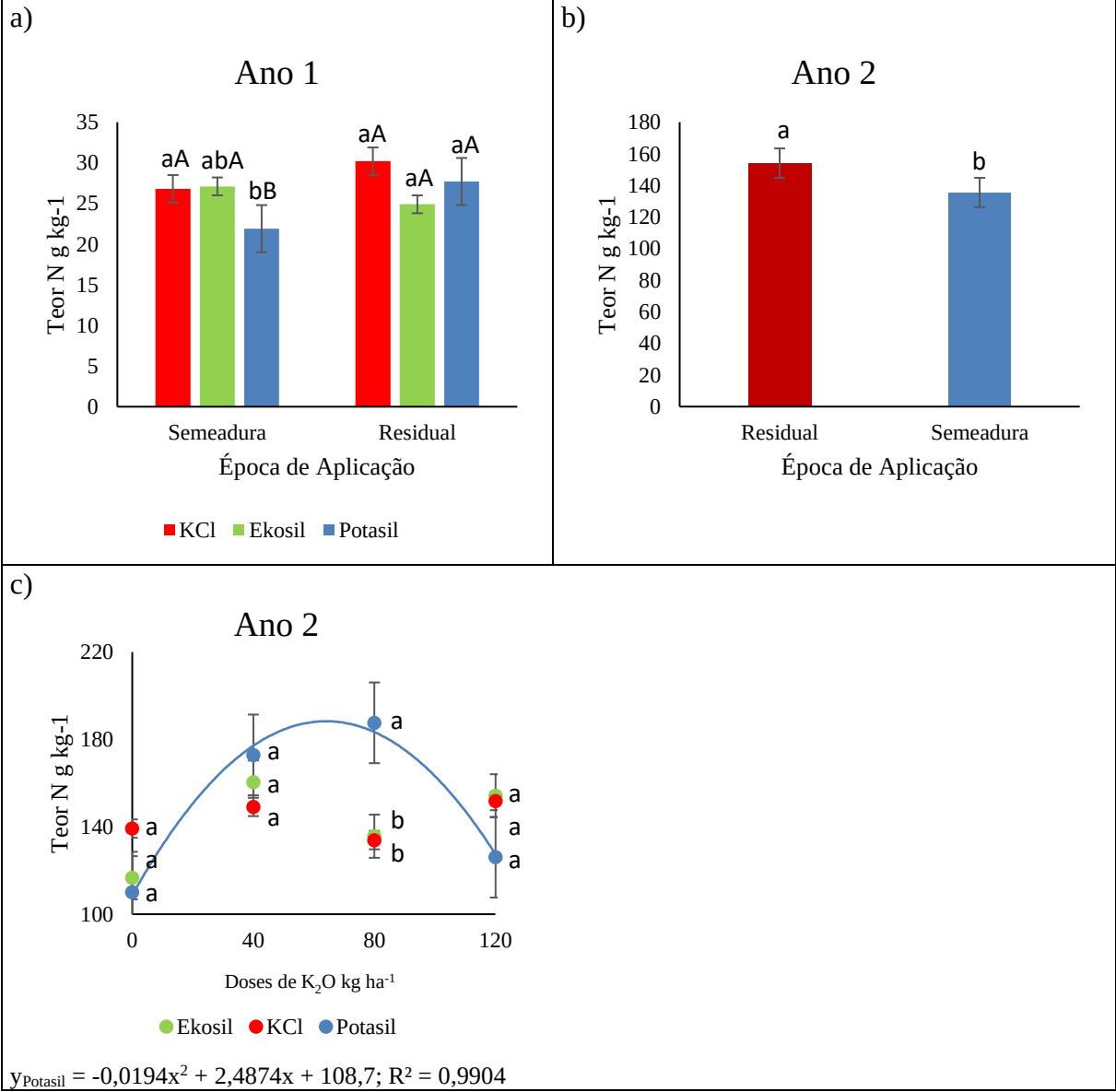
As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Para nitrogênio, houve efeito significativo para épocas, com destaque para aplicação na semeadura (Figura 20b); para interação entre fonte e época (Figura 20a), consta que para o Potasil houve destaque para aplicação de forma antecipada, enquanto para os demais não houve efeito significativo; já entre as doses, houve destaque para Ekosil e KCl aplicados na semeadura, enquanto de forma residual não houve efeito significativo para fontes. Na interação entre fonte e dose, houve efeito significativo, para dose de 80 kg ha⁻¹ com destaque para o Potasil e ajuste quadrático com dose ótima de 64,11 kg ha⁻¹ (Figura 20c). Na interação de dose e época não houve significância. Embora não tenha havido significância entre as fontes, a aplicação

antecipada destacou-se, corroborando estudos que indicam que a sincronização da aplicação com a demanda inicial das culturas pode aumentar a eficiência do N (Valenzuela, 2024).

Figura 20. a) Interação fonte e época para N, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F. b) Efeito isolado época para N, com letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para EA com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F.

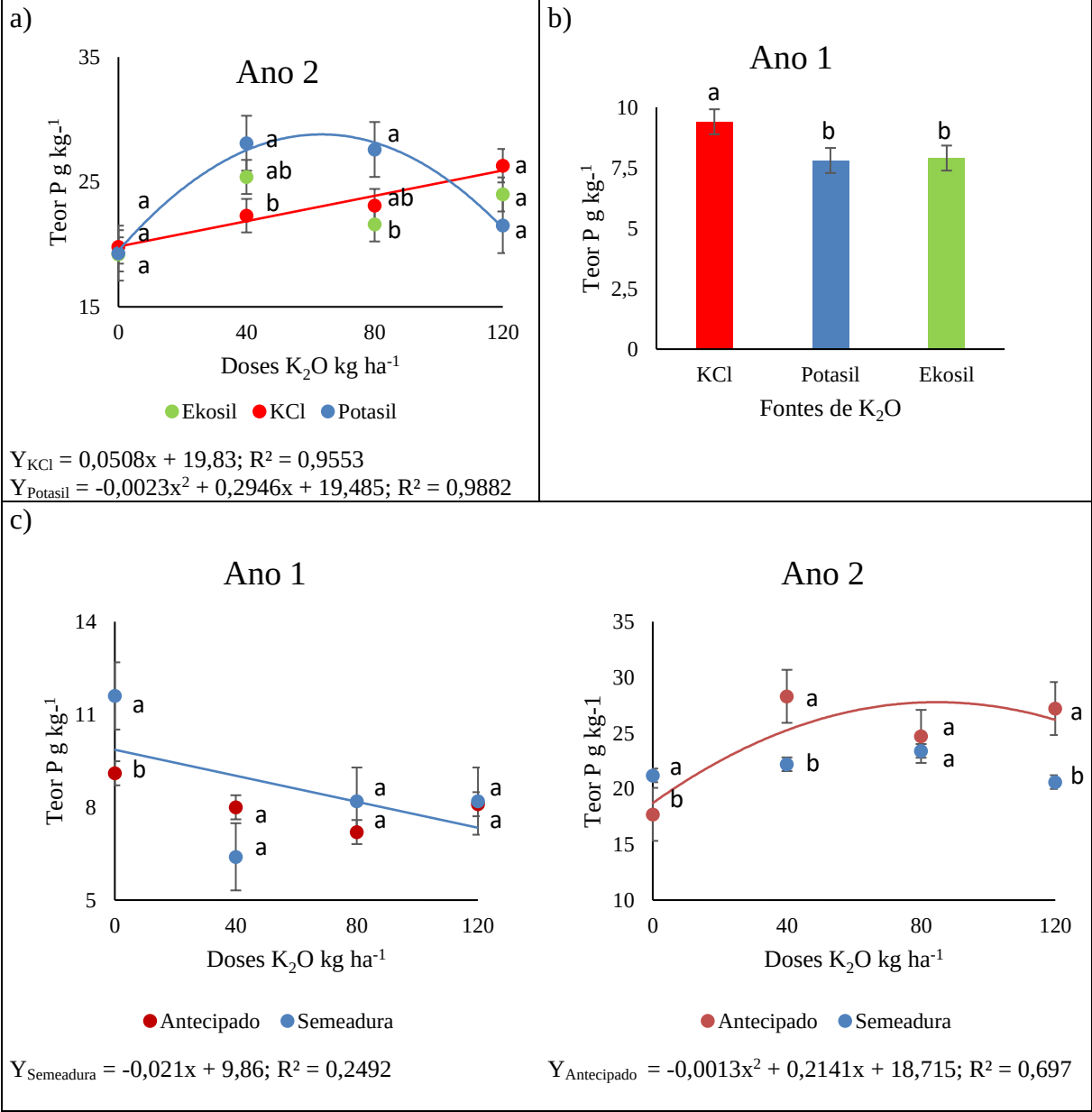


Fonte: Produção da própria autora.

Na interação entre fonte e dose, houve efeito significativo, para dose de 40 e 80 kg ha⁻¹ com destaque para o KCl e Potasil, com ajuste linear crescente e ajuste quadrático com dose ótima de 64,04 kg ha⁻¹ (Figura 21a), respectivamente. Para fonte houve significância de forma isolada, com destaque para KCl (Figura 21b). Na interação de dose e época houve significância (Figura 20c), com destaque para dose 0 na semeadura e dose 40 e 120 com destaque para aplicação antecipada, com ajuste quadrático para ambas as épocas e dose ótima de 82,35 kg ha⁻¹

¹ para aplicação na antecipada do Ano 2. Enquanto na interação entre fonte e época. O KCl destacou-se como a fonte mais eficiente, possivelmente devido à sua maior solubilidade e disponibilidade imediata para as plantas (Li *et al.*, 2024). Ainda segundo os autores, a aplicação antecipada foi superior, reforçando a importância de alinhar a aplicação de P com períodos de maior demanda radicular.

Figura 21. a) Interação fonte e dose para P, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado fonte para P, com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para P com letras distintas para fonte a 5% pelo teste F.

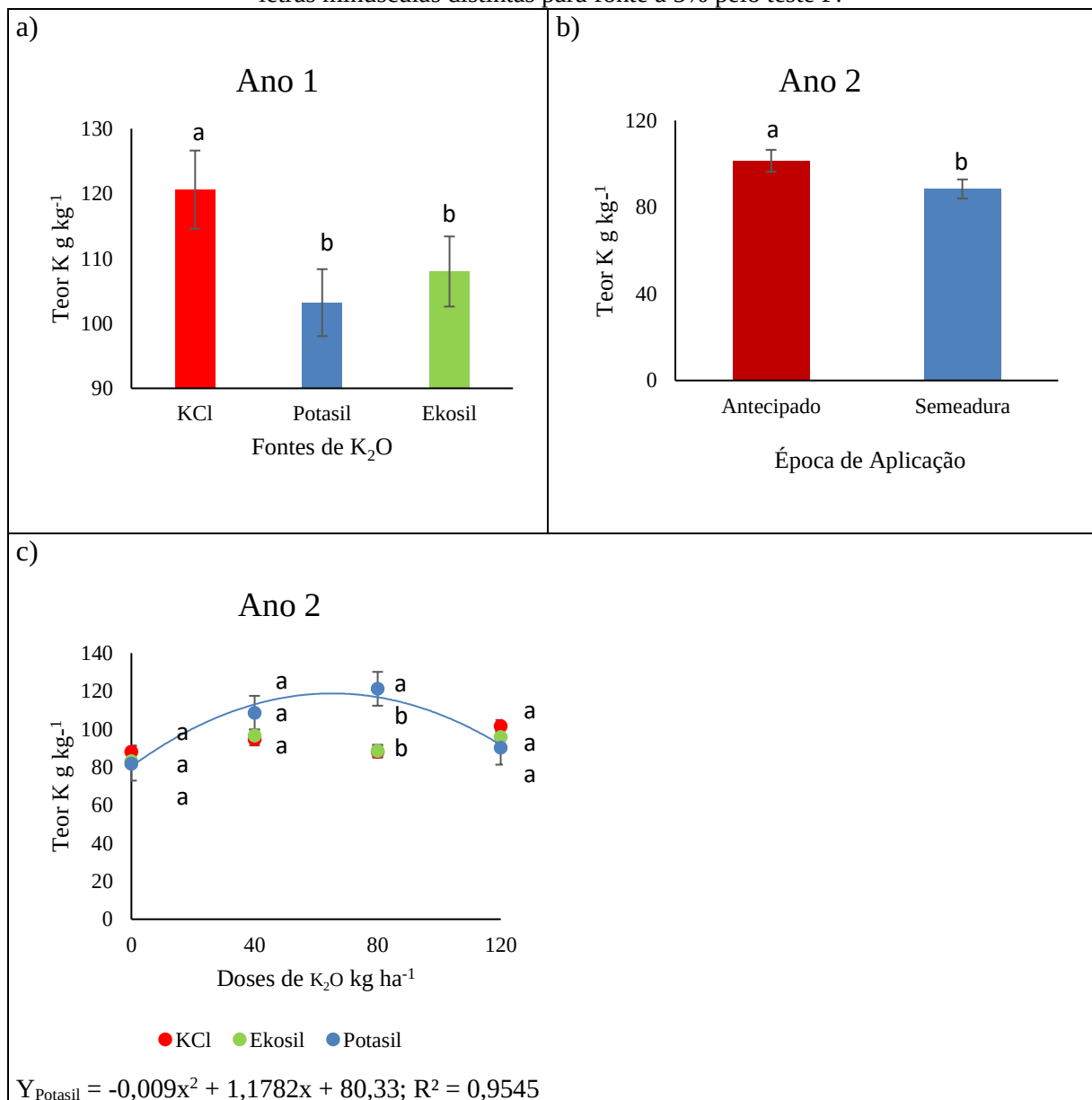


Fonte: Produção da própria autora.

Para potássio, houve efeito significativo isolado para fontes para Ano 1, com destaque para KCl (Figura 22a); para épocas houve efeito significativo para Ano 2, com destaque para

aplicação antecipada (Figura 22b). Esses resultados estão alinhados com a literatura, que aponta o KCl como uma F eficiente devido à rápida liberação de potássio no solo (HE *et al.*, 2022). Na interação entre fonte e dose (Figura 22c), houve efeito significativo, para dose de 80 kg ha⁻¹ com destaque para o Potasil e ajuste quadrático com dose ótima de 76,17 kg ha⁻¹. Na interação de dose e época não houve significância. Já na interação entre fonte e época não houve destaque. Na interação fonte e dose, o KCl e o Potasil foram destaques em doses de 40 e 80 kg ha⁻¹, com ajustes lineares crescentes e quadráticos.

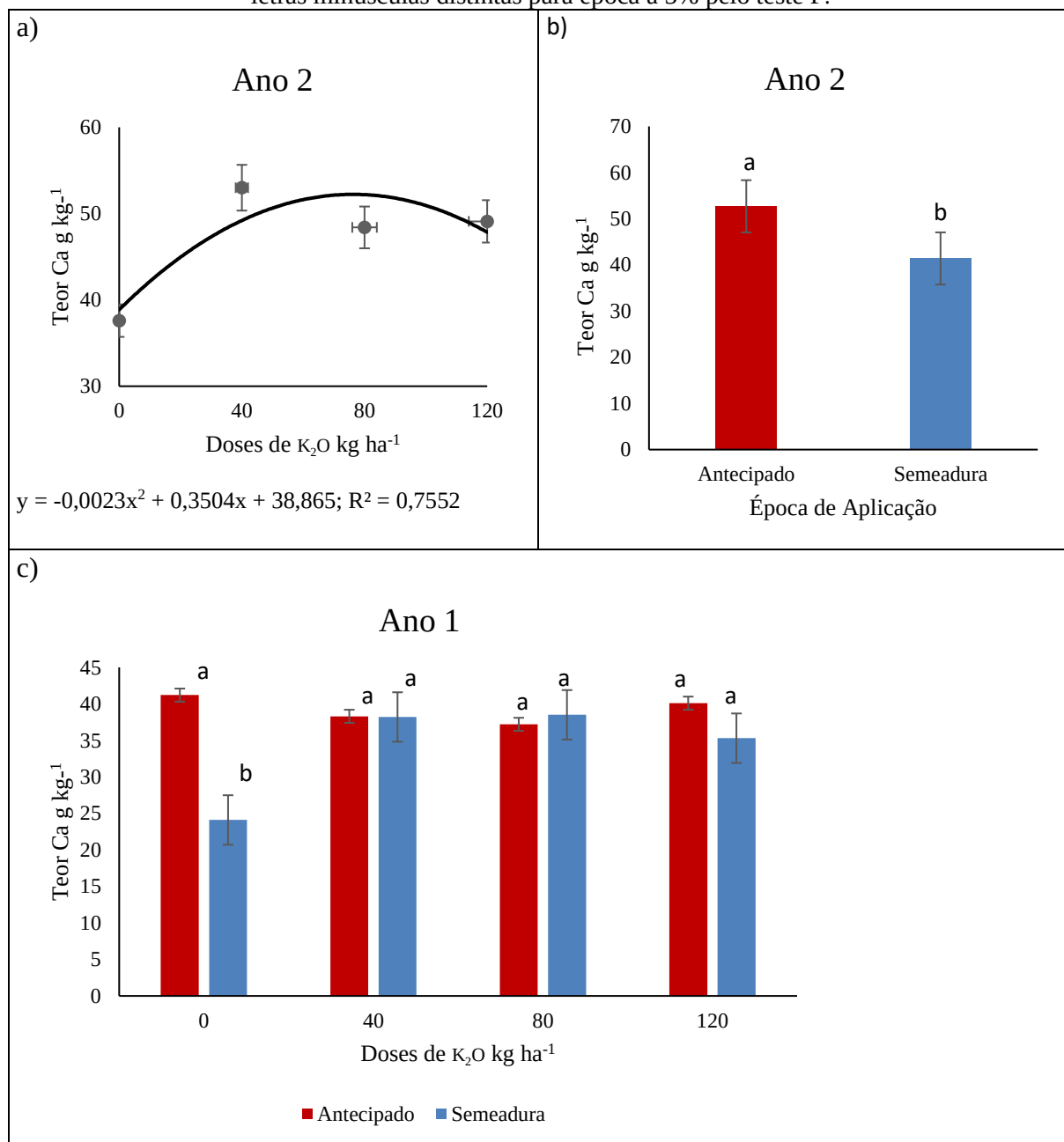
Figura 22. a) Efeito isolado das fonte, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das época, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e dose para K, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Ca o efeito significativo isolado das doses consta na Figura 23a; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada (Figura 23b), para interação entre dose e época (Figura 23c), houve efeito significativo, para doses de 0 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, sem ajuste. Na interação de dose e época e fonte e época não houve significância. A ausência de significância entre as fontes sugere que as diferenças na solubilidade e mobilidade do Ca no solo podem ser menos influentes em doses ajustadas (Agegnehu *et al.*, 2021).

Figura 23. a) Efeito isolado das doses, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das épocas, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação dose e época para Ca, letras minúsculas distintas para época a 5% pelo teste F.



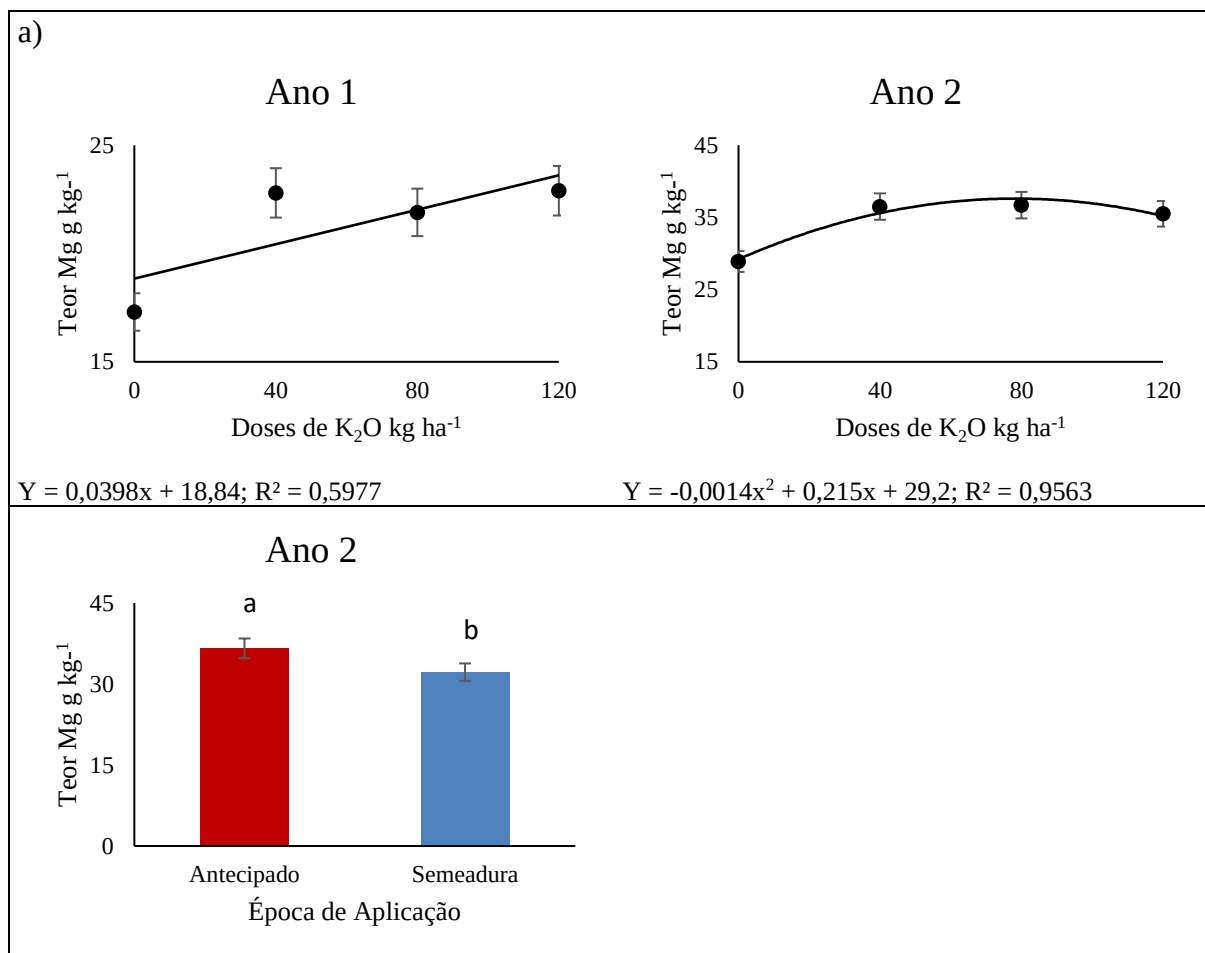
Fonte: Produção da própria autora.

Para Mg, conta-se na Figura 24a o ajuste na função linear no Ano 1, tende a ter incremento de Mg com o aumento da dose e função quadrática e dose máxima de ajuste quadrático no Ano 2 com dose ótima de 76,79 kg ha⁻¹; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada, para magnésio não houve efeito significativo nas interações (Figura 24b). Interação entre fonte e dose, houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ no Ano 1, com destaque para KCl, e para Ano 2, destaque para Ekosil e KCl na dose 0 e Ekosil e Potasil na dose de 40, tendo o Ekosil ajuste linear positivo, KCl ajuste linear negativo e Potasil ajuste

quadrático com dose ótima de 67,37 kg ha⁻¹ no Ano 2. As interações entre fontes e épocas não foram significativas, sugerindo que o manejo das doses é o principal fator a ser considerado para otimizar a eficiência agrônômica do Mg (Agegnehu *et al.*, 2021).

Figura 24. a) Efeito das doses para acúmulo de Mg, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F.

b) Efeito das épocas para acúmulo de Mg, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F.

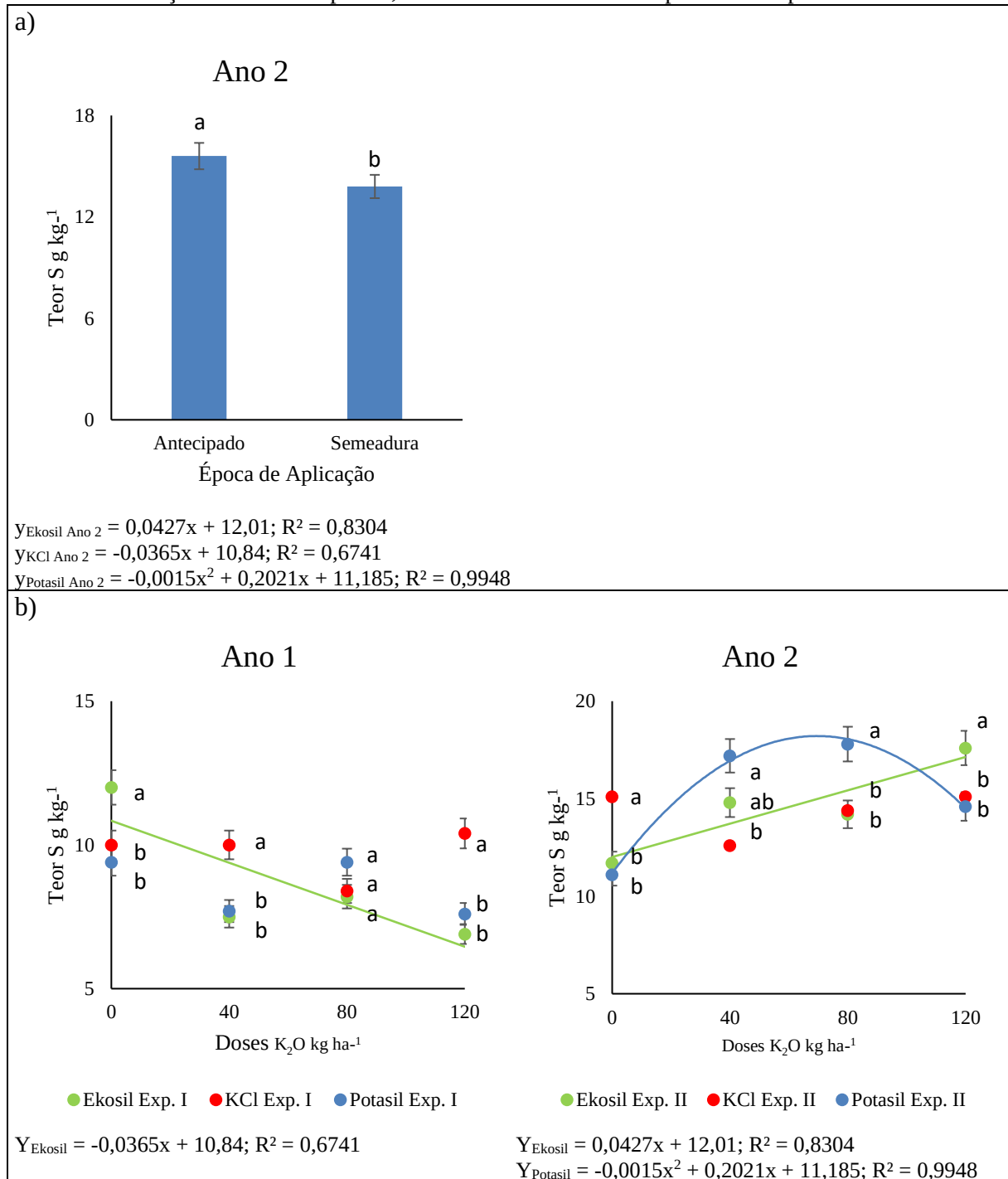


Fonte: Produção da própria autora.

Para o enxofre, para época houve efeito significativo com destaque para aplicação antecipada (Figura 25a); ajustes lineares foram observados, sendo negativos no Experimento I e positivos no Experimento II. A aplicação antecipada foi novamente superior, reforçando que o S, quando aplicado antes da semeadura, pode ser mais bem sincronizado com as necessidades iniciais das plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade inicial do nutriente (Rathore *et al.*, 2022). A análise das interações reforça a complexidade do manejo de fertilizantes. Por exemplo, a interação entre fonte e dose destacou o Potasil na dose de 80 kg ha⁻¹ (Figura 25b), enquanto Ekosil e KCl foram superiores na semeadura. No Ano 2, o Ekosil apresentou ajuste linear positivo, enquanto o KCl teve ajuste linear negativo, e o Potasil, ajuste

quadrático com dose ótima de 67,37 kg ha⁻¹. Esses resultados indicam que a escolha da fonte e o ajuste da dose são fatores fundamentais para otimizar o desempenho de cada nutriente em condições específicas (Ribeiro *et al.*, 2022). Estudos futuros devem buscar entender melhor essas interações para desenvolver recomendações mais precisas e sustentáveis.

Figura 25. a) Efeito isolado da época para S, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para S, letras minúsculas distintas para F a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.6.2 Micronutrientes e elementos benéficos (Si e Na) na soja

Segundo a Tabela 13, houve ajuste de doses para Cu, com ajuste linear positivo; para fonte houve significância, com destaque para KCl. Segundo a Tabela 13, houve ajuste de doses para Fe, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 67,62 kg ha⁻¹ para Ano 2; para fonte e época não houve significância. Segundo a Tabela 13, houve ajuste de doses para Mn, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 76,54 kg ha⁻¹; para as demais interações não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 13, não houve ajuste de doses para Zn; para fonte houve significância no Ano 1 com destaque para KCl; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 13, não houve ajuste de doses e fonte para Si; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada. Segundo a Tabela 13, não houve ajuste de doses e fonte para B; para época houve efeito significativo com destaque para aplicação antecipada; para interação dose e época, fonte e época não houve significância. Segundo a Tabela 13, houve ajuste de doses para o Na, com ajuste na função quadrática para Ano 2, com dose ótima de 112,99 kg ha⁻¹; para época e fonte não houve significância.

Tabela 13. Médias para os micronutrientes na palhada de soja sob fontes, doses e épocas de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1 Soja						Ano 2 Soja					
	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Na
	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹	
0	33,6	615,3	168,8	34,3	0,76	129,8	55,8	886,1	258,1	164,3	3,84	5,4
40	44,2	519,2	206,9	39,9	0,81	117,6	99,1	1124,0	394,9	150,4	3,89	6,3
80	47,5	510,3	200,0	40,7	0,80	110,5	81,3	1234,8	360,2	133,3	3,94	6,2
120	70,2	502,5	205,8	41,2	0,71	111,4	83,6	998,8	362,8	129,6	3,79	6,2
Fontes												
KCl	62,8 a	632,6	211,7	44,8 a	0,83	126,1	79,8	1036,7	361,3	159,9 a	3,82	5,8
Potasil	50,7 ab	420,6	184,2	36,6 b	0,73	112,9	78,9	1033,8	333,6	131,3 a	3,91	6,4
Ekosil	33,1 b	557,4	190,2	35,7 b	0,75	112,9	81,1	1112,3	337,2	142,0 a	3,88	5,9
Épocas apl.												
Antecipado	61,0 a	516,5	202,2	38,7	0,76	117,6	81,9	1090,5	368,7	163,8 a	4,19 a	6,2
Semeadura	36,8 b	557,2	188,6	39,4	0,77	117,1	77,9	1031,4	319,3	124,9 b	3,54 b	5,8
Média	48,88	536,85	195,38	39,05	0,77	117,32	79,94	1060,9	344,02	144,39	3,86	6,01
CV (%)	75,61	104,13	28,47	35,07	22,42	21,93	57,97	31,59	35,38	30,10	15,73	14,77

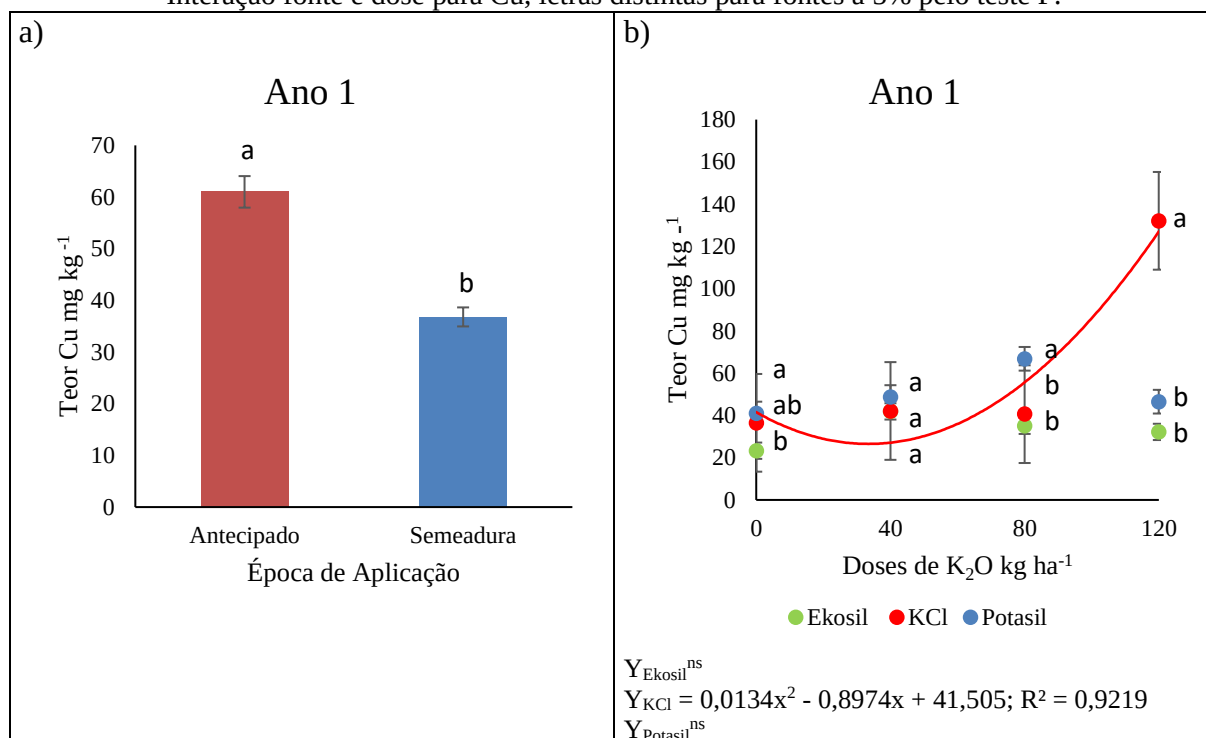
As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Para cobre, épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada (Figura 26a); na interação entre fonte e dose, houve efeito significativo, para 0 kg ha⁻¹, com destaque para Potasil, sem ajuste para dose dentro de fonte, para dose 80 kg ha⁻¹, ainda com destaque para o Potasil, e dose 120 kg ha⁻¹ com destaque para o KCl com ajuste quadrático (Figura 26b). Para o cobre (Cu), observou-se um ajuste linear positivo para doses, destacando o KCl como a fonte mais eficiente e a aplicação antecipada como a época mais favorável. A interação entre fonte e dose revelou o Potasil como mais eficiente nas doses de 0 e 80 kg ha⁻¹,

enquanto o KCl apresentou melhor desempenho na dose de 120 kg ha⁻¹, com ajuste quadrático. Esses resultados estão alinhados com estudos que destacam a importância da aplicação de Cu em estágios iniciais de desenvolvimento para maximizar sua absorção pelas plantas (Dhaliwal *et al.*, 2019; Wyszowski; Brodowska, 2021).

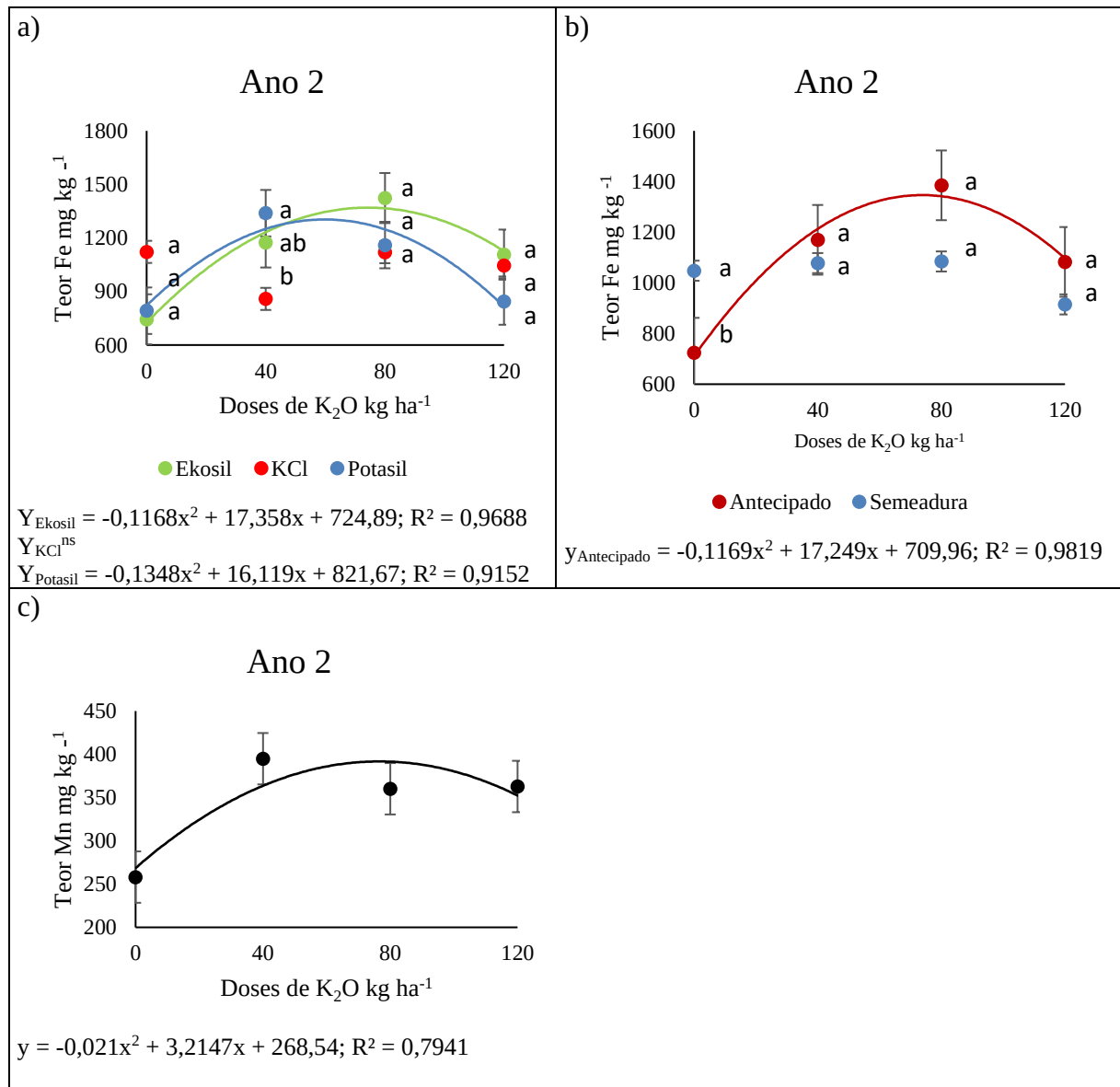
Figura 26. a) Efeito isolado de época em Cu, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e dose para Cu, letras distintas para fontes à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Na interação entre fonte e dose (Figura 27a), houve efeito significativo para Fe, para dose de 40 kg ha⁻¹ no Ano 2, com destaque para Ekosil e Potasil, com ajuste quadrático e dose máxima de 74,31 e 59,79 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 27c). Na interação entre dose e época, houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste quadrático de dose máxima 73,78 kg ha⁻¹ (Figura 27b). No caso do ferro (Fe), foi identificado ajuste quadrático no Experimento II, com dose máxima de 67,62 kg ha⁻¹. No entanto, não houve significância para fontes e épocas, indicando que o manejo do Fe depende predominantemente do ajuste de doses. Resultados semelhantes foram reportados por (Bhat *et al.*, 2024), que observaram resposta positiva do Fe em doses intermediárias, com maior eficiência em solos de pH neutro a ligeiramente ácido a interação entre dose e época, houve efeito significativo, dose de 0 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, ajuste quadrática.

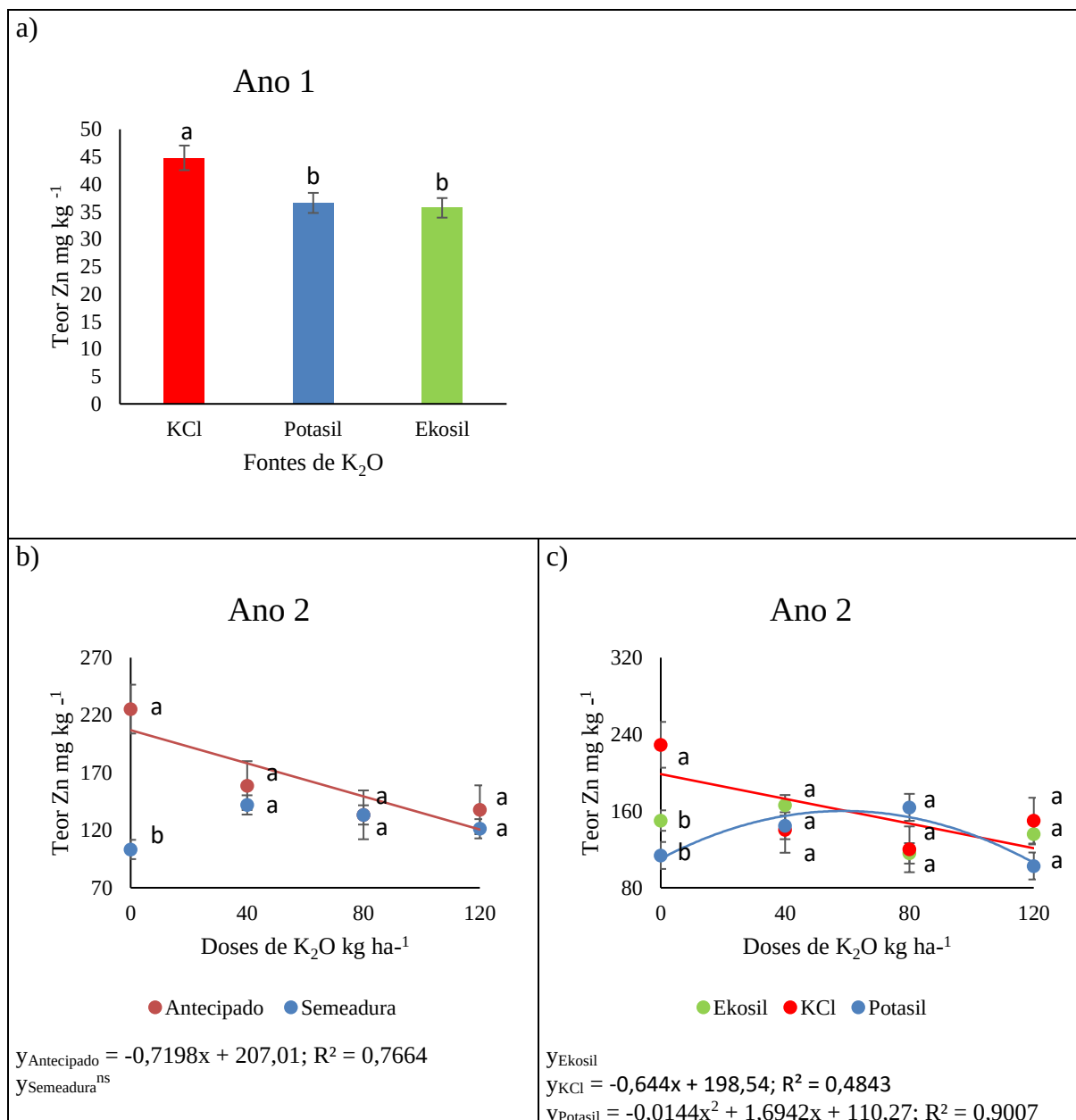
Figura 27. a) Interação fonte e dose para Fe, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F. b) Interação dose e época para Fe, letras minúsculas distintas para F a 5% pelo teste F. c) Efeito isolado das doses para Fe.



Fonte: Produção da própria autora.

Para o zinco (Zn), não houve ajuste de doses, mas o KCl se destacou como a fonte mais eficiente no Experimento I (Figura 28a). Isso pode ser explicado pela rápida disponibilidade de Zn fornecida por fontes altamente solúveis, como o KCl, em solos com baixa retenção de micronutrientes (Kumar *et al.*, 2022). Na interação entre época e dose (Figura 28b), houve efeito significativo, para aplicação antecipada, com ajuste linear decrescente. Na interação entre fonte e dose (Figura 28c), houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ no Ano 2, com destaque para KCl, tendo o KCl e Potasil ajuste quadrático.

Figura 28. a) Efeito da fonte para zinco, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e época para zinco Ano 2, letras minúsculas distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação entre dose e fonte para zinco Ano 2, letras minúsculas distintas para fonte a 5% pelo teste F.



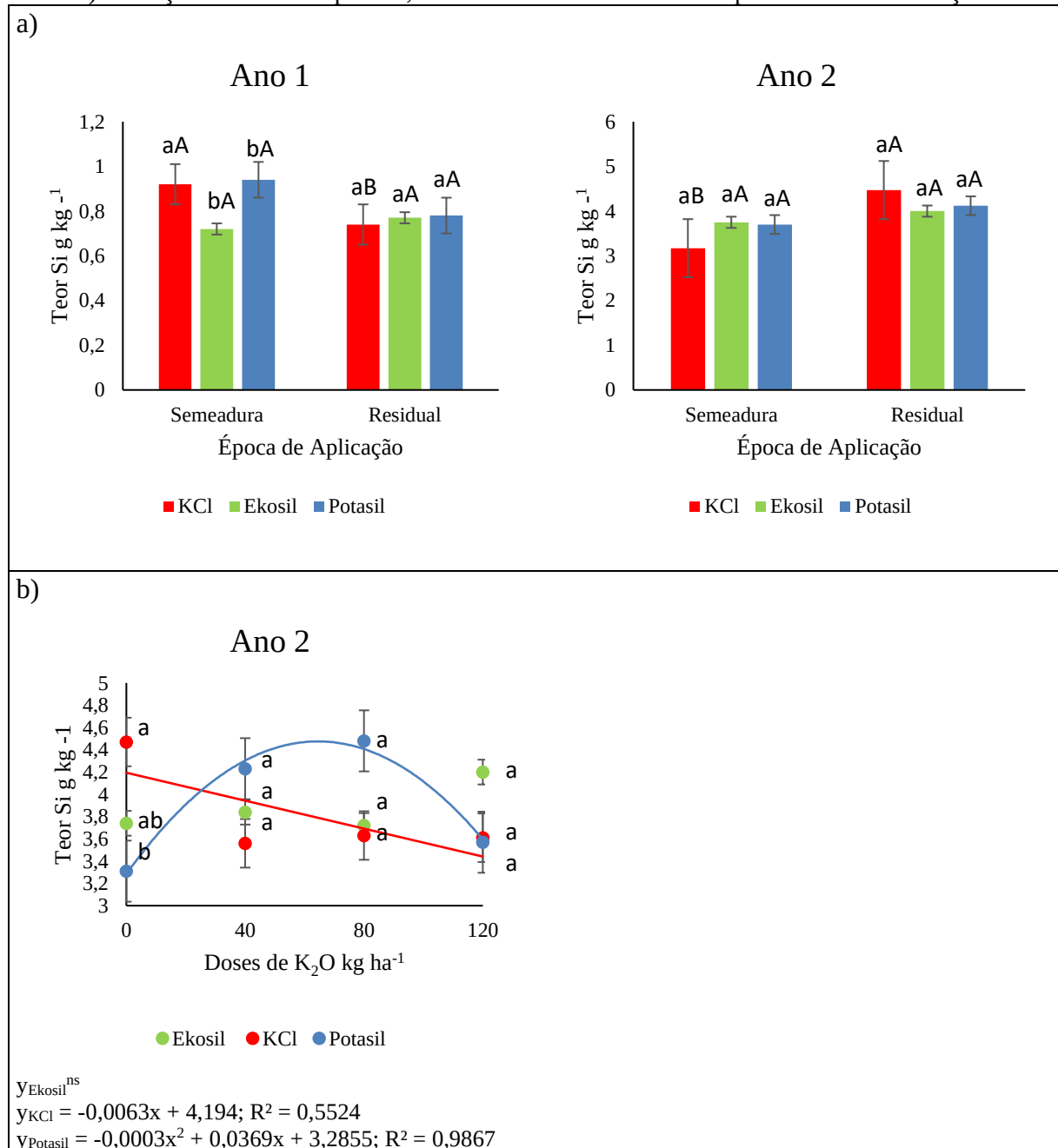
Fonte: Produção da própria autora.

Na interação entre fonte e época (Figura 29a), consta que para o KCl houve destaque para aplicação na semeadura Ano 1 e de forma antecipada no Ano 2, enquanto para os demais não houve efeito significativo; já entre as doses, houve destaque para KCl aplicado na semeadura, enquanto de forma residual não houve efeito significativo para fontes. Na interação entre fonte e dose (Figura 29b), houve efeito significativo, para dose 0 kg ha⁻¹ no Ano 2, com destaque

para Ekosil e KCl, tendo linear negativo para KCl e ajuste quadrático para Potasil, com dose ótima de 61,5 kg ha⁻¹. Na interação de dose e época não houve significância.

Figura 29. a) Interação fonte e época para Si, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de fonte dentro época pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

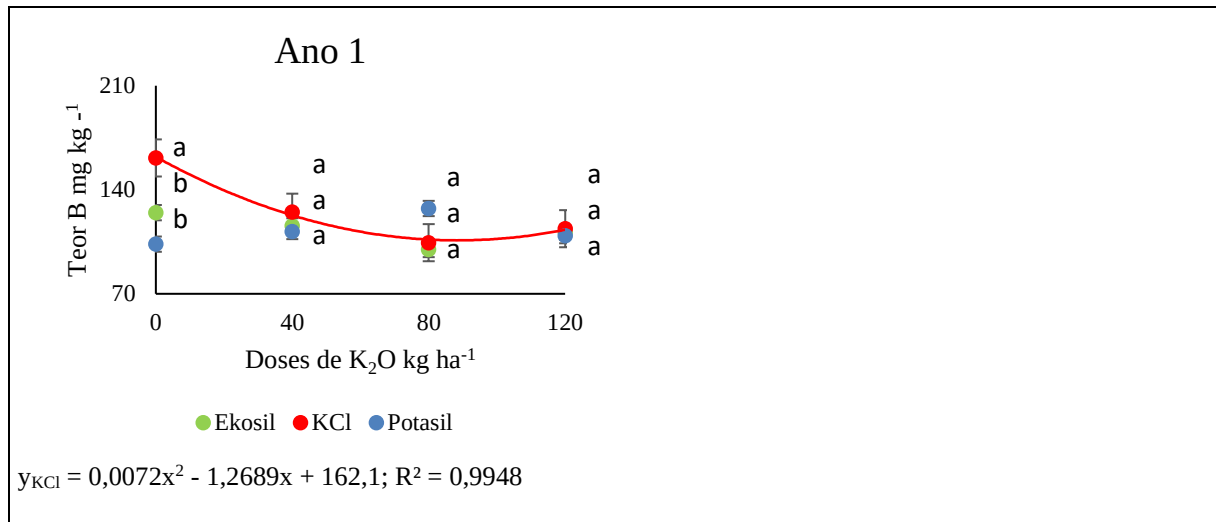
b) Interação fonte e dose para Si, letras minúsculas distintas de época dentro da interação.



Fonte: Produção da própria autora.

Na interação entre fonte e dose para B (Figura 30), houve efeito significativo, para dose de 40 e 80 kg ha⁻¹ no Ano 2, com destaque para KCl, sendo que o Ekosil ajuste linear positivo e Potasil ajuste quadrático com dose ótima de 71,4 kg ha⁻¹ no Ano 2.

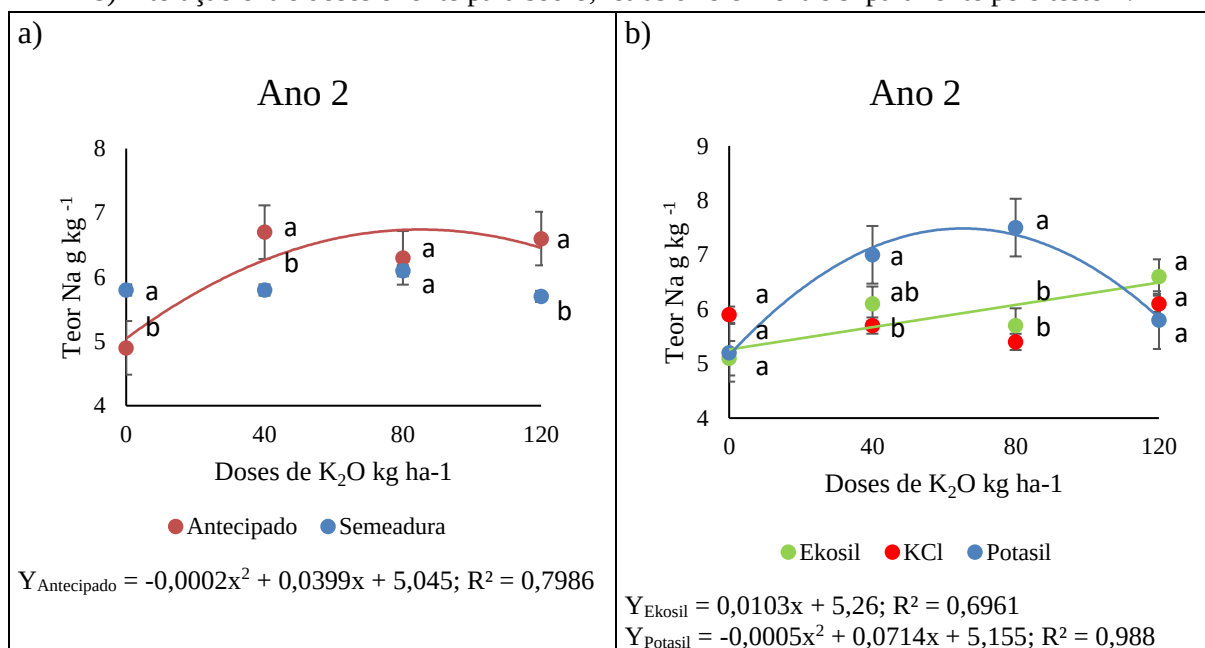
Figura 30. Interação das doses com F para B a 5% pelo teste F.



Fonte: produção da própria autora

O sódio (Na) apresentou ajuste quadrático no Experimento II, com dose ótima de 112,99 kg ha⁻¹. No entanto, não houve efeitos significativos para fontes ou épocas. Essa resposta reforça que o Na pode atuar como substituto parcial do potássio (K) em algumas culturas, mas sua aplicação deve ser manejada com cautela para evitar toxicidade em altas concentrações (Gusmão *et al.*, 2017). Na interação entre época e dose (Figura 31a), houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada, ajuste quadrático e dose máxima de 99,75 kg ha⁻¹. Na interação entre fonte e dose (Figura 31b), houve efeito significativo, com ajuste quadrático para Potasil e dose máxima de 71,4 kg ha⁻¹ e ajuste linear crescente para Ekosil, quanto maior a dose, maior o incremento do nutriente.

Figura 31. a) Interação entre doses e época para sódio, letras diferem entre si para época pelo teste F. b) Interação entre doses e fonte para sódio, letras diferem entre si para fonte pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para o silício (Si) e o boro (B), não foram identificados ajustes de doses ou fontes significativas. No entanto, para ambos os nutrientes, a aplicação antecipada destacou-se em eficiência. Esses resultados corroboram estudos que sugerem que a aplicação antecipada de Si e B pode otimizar sua disponibilidade durante o desenvolvimento inicial das plantas, reduzindo a competição com outros nutrientes (Negasa *et al.*, 2023). Para o manganês (Mn), o ajuste quadrático indicou dose máxima de 76,54 kg ha⁻¹, sem efeitos significativos para outras interações. Essa resposta sugere que o Mn é mais influenciado pela dose aplicada do que pela fonte ou época, corroborando estudos que destacam sua mobilidade limitada no solo e a necessidade de aplicações precisas (Negasa *et al.*, 2023).

Na análise de interações, a interação entre dose e fonte revelou destaques importantes, como o Potasil na dose de 80 kg ha⁻¹ com ajuste quadrático e dose ótima de 64,11 kg ha⁻¹, enquanto o Ekosil foi mais eficiente na dose de 40 kg ha⁻¹, com ajuste linear positivo no Experimento II. Esses resultados indicam que fontes alternativas como Ekosil e Potasil podem superar o KCl em condições específicas, contribuindo para maior eficiência no uso de nutrientes (Wyszkowski; Brodowska, 2021). A interação entre dose e época mostrou que doses de 0 kg ha⁻¹ apresentaram maior eficiência na aplicação antecipada, com ajuste quadrático e dose ótima de 99,75 kg ha⁻¹. Esses achados reforçam a importância de sincronizar a aplicação de nutrientes com as fases de maior demanda das culturas (Dhaliwal *et al.*, 2019). Isso evidencia que, em

condições de baixa fertilidade inicial, essas fontes podem otimizar a disponibilidade de nutrientes.

4.6.3 Macronutrientes no Milho

Segundo a Tabela 14, houve ajuste de doses para N, com ajuste na função quadrática e doses máximas de 64,30 kg ha⁻¹; para fonte houve significância, com destaque para Potasil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 14, houve ajuste de doses para P, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 70,5 kg ha⁻¹; para fonte e épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 14, houve ajuste quadrático para doses para K, com dose ótima de 73,65 kg ha⁻¹ no Ano 2; para épocas houve efeito significativo para Ano 1 para semeadura; para fonte houve significância para Ano 2, com destaque para Potasil. Segundo a Tabela 14, houve ajuste linear positivo para doses para Ca; para fonte houve significância, com destaque para Potasil no Ano 2; para épocas houve efeito significativo para Ano 1. Segundo a Tabela 14, não houve ajuste de doses para Mg; para fonte houve significância, com destaque para Potasil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 14, não houve ajuste de doses para S; para épocas não houve efeito significativo; para fonte houve efeito significativo, com destaque para Potasil e Ekosil.

Tabela 14. Médias para os macronutrientes na palhada milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1 Milho						Ano 2 Milho					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹											
0	-		60,1	19,3	-	-	60,1	1,9	94,9	24,5	29,2	6,9
40	-		61,7	19,5	-	-	74,4	5,5	147,6	27,7	28,6	6,7
80	-		57,5	19,7	-	-	65,6	4,4	128,9	24,9	25,4	6,0
120	-		64,9	21,4	-	-	66,0	4,3	130,5	30,8	28,1	6,6
Fontes												
KCl	-		59,1	18,8 a	-	-	60,0 b	3,8	122,4 b	24,8 b	25,3 b	6,1 b
Potasil	-		69,2	22,1 a	-	-	75,6 a	4,4	142,7 a	30,2 a	31,8 a	7,3 a
Ekosil	-		54,9	19,0 a	-	-	63,9 b	3,9	111,4 b	26,0 b	26,3 b	6,4 ab
Épocas apl.												
Semeadura	-		60,5 a	21,36 a	-	-	67,5	4,4	126,9	27,0	27,8	6,3
Antecipado	-		61,6 a	18,6 b	-	-	65,5	3,8	124,1	26,9	27,8	6,8
Média	-		61,05	19,98	-	-	66,51	4,07	125,5	26,9	27,80	6,57
CV (%)	-		30,55	26,24	-	-	18,16	36,93	22,03	21,69	15,92	24,21

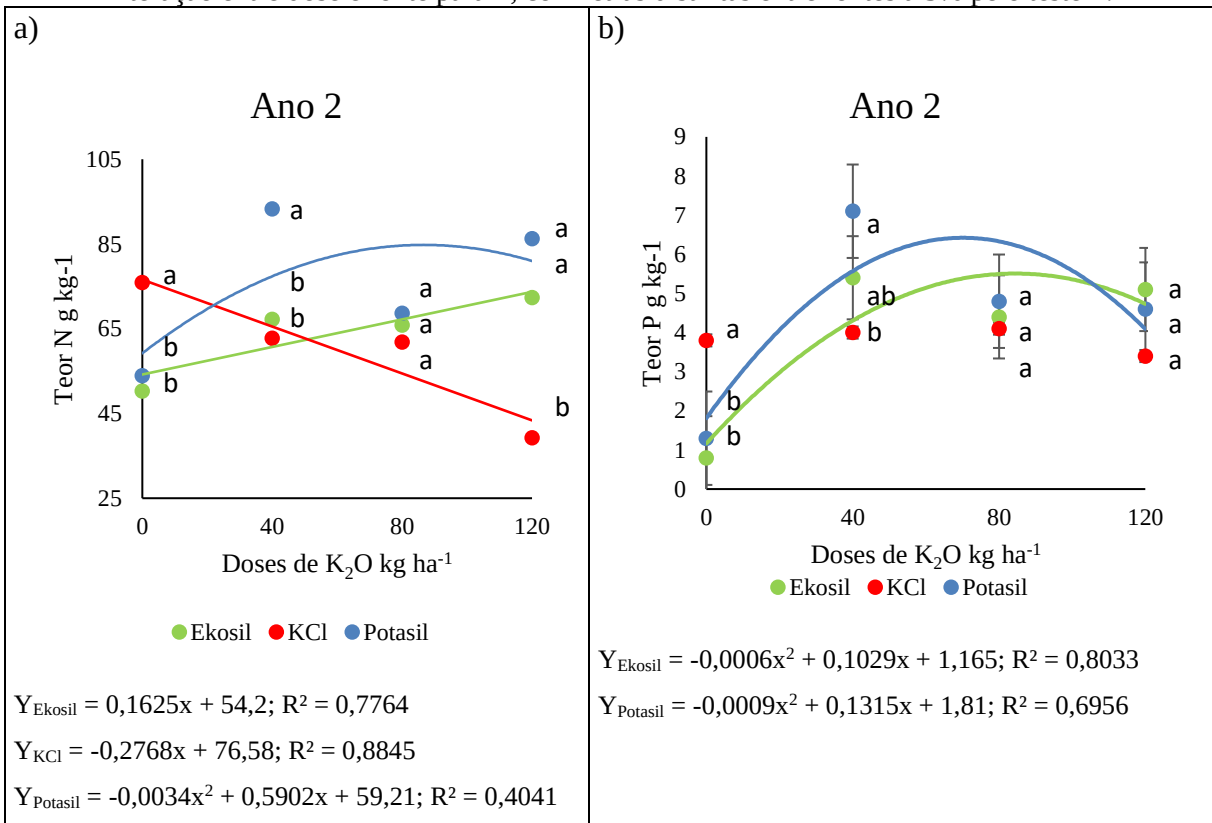
As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Para N, a interação entre fonte e dose (Figura 32a), houve efeito significativo, Potasil nas doses 0 e 40 kg ha⁻¹ e Ekosil e Potasil para dose de 120 kg ha⁻¹, tendo o Ekosil ajuste linear positivo e Potasil ajuste quadrático com dose ótima de 86,79 kg ha⁻¹. O milho também demonstrou respostas específicas às diferentes doses, fontes e épocas de aplicação de fertilizantes. Para o nitrogênio (N), o Ekosil e Potasil se destacaram, principalmente nas doses mais elevadas. Este resultado está alinhado com estudos que sugerem que fontes de potássio contendo silício podem potencializar a assimilação de nitrogênio em gramíneas, devido à interação positiva entre esses nutrientes (Głowacka *et al.*, 2023).

Para P, a interação entre fonte e dose (Figura 32b), houve efeito significativo, com destaque para KCl na dose 0 e Ekosil e Potasil na dose de 40 kg ha⁻¹; houve ajuste para equação quadrática para Ekosil e Potasil com dose ótima de 85,75 e 73,05 kg ha⁻¹, respectivamente. O fósforo (P) e o magnésio (Mg) apresentaram ajuste linear positivo às doses, indicando que o aumento da disponibilidade de K₂O favoreceu o acúmulo desses nutrientes nos grãos. Resultados semelhantes foram observados por Bader *et al.* (2021), que destacaram a importância de ajustes precisos nas Doses de fertilizantes para otimizar a eficiência de uso de nutrientes.

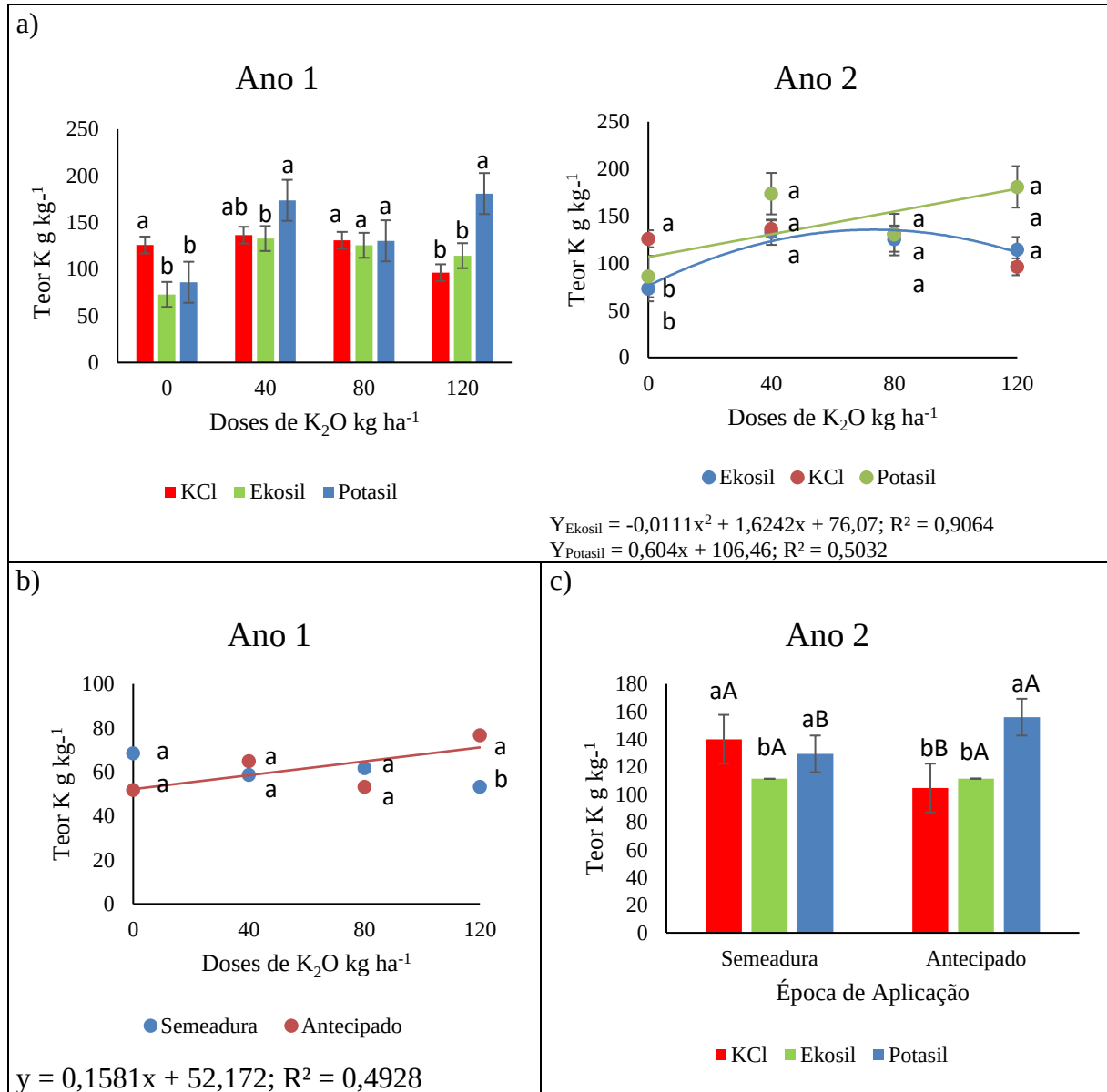
Figura 32. a) Interação entre dose e fonte para N, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e fonte para P, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para o acúmulo de K na palhada houve ajuste linear crescente para à adubação antecipada, ocorrendo assim o acréscimo de K na palhada conforme o aumento das doses. Na dose de 120 kg ha⁻¹ à adubação antecipada foi melhor estatisticamente do que na ocasião de semeadura. Na interação entre fonte e dose (Figura 33a), houve efeito significativo, para dose de 0, com destaque para o KCl, 40, com destaque para KCl e Potasil e 120 kg ha⁻¹ com destaque para Potasil no Ano 2, tendo o Ekosil ajuste quadrático e dose ótima de 73,16 kg ha⁻¹, KCl sem ajuste e Potasil ajuste linear positivo. Na interação de dose e época houve significância, com ajuste linear para aplicação antecipada (Figura 33b). Já na interação entre fonte e época (Figura 33c), consta que para o KCl houve destaque na adução na semeadura e para Potasil houve destaque para aplicação de forma antecipada; já entre as fontes, houve destaque para Potasil aplicado na semeadura, enquanto de forma residual houve destaque para KCl e Potasil.

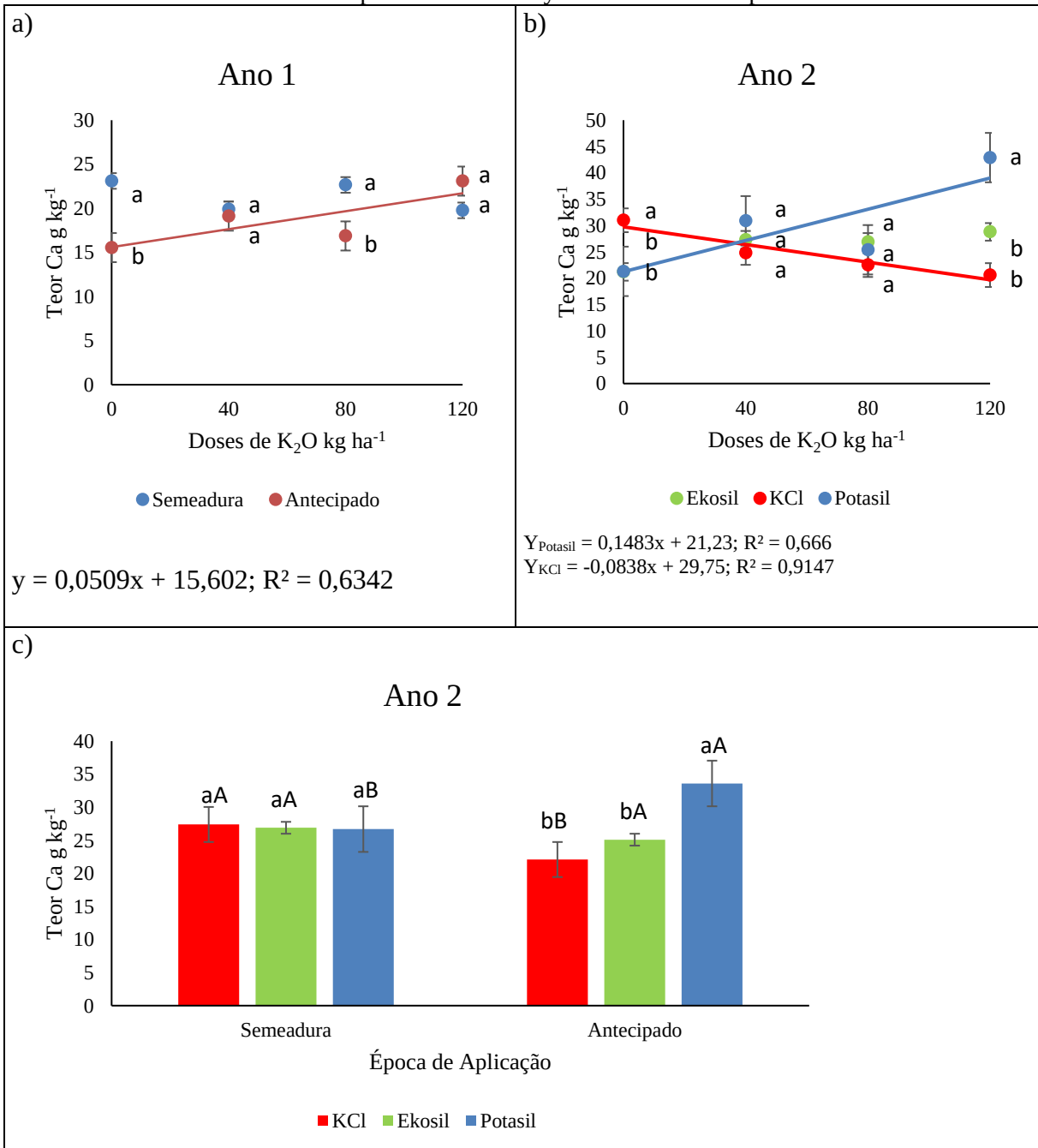
Figura 33. a) Interação entre dose e fonte para K, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e época para K, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para K, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de F dentro pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.



Fonte: Produção da própria autora.

No desdobramento da época dentro das doses de K_2O para o acúmulo de Ca na palhada, houve um ajuste linear crescente para a adubação antecipada, aumentando assim a quantidade de Ca conforme o aumento das doses (Figura 34a). Nas doses de 0 e de 80 kg ha^{-1} , a aplicação em semeadura foi superior estatisticamente à aplicação antecipada. No acúmulo do Ca, os maiores valores foram encontrados na ocasião da adubação em semeadura, ficando disponível para a cultura, mesmo que não diferindo estatisticamente, podemos observar que a fonte Potasil ainda manteve um maior acúmulo de Ca quando comparado com as outras doses (Tabela 70). Na interação entre fonte e dose (Figura 34b), houve efeito significativo, para KCl na D 0 e Potasil na D de 120 kg ha^{-1} , tendo KCl ajuste linear negativo e Potasil ajuste linear positivo. Já na interação entre fonte e época (Figura 34c), consta que para o KCl houve destaque na aplicação na semeadura e Potasil houve destaque para aplicação de forma antecipada; já entre as doses, houve destaque Potasil quando aplicado na semeadura.

Figura 34. a) Interação entre dose e época para Ca, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. b) Interação entre dose e fonte para Ca, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para Ca, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de F dentro pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.



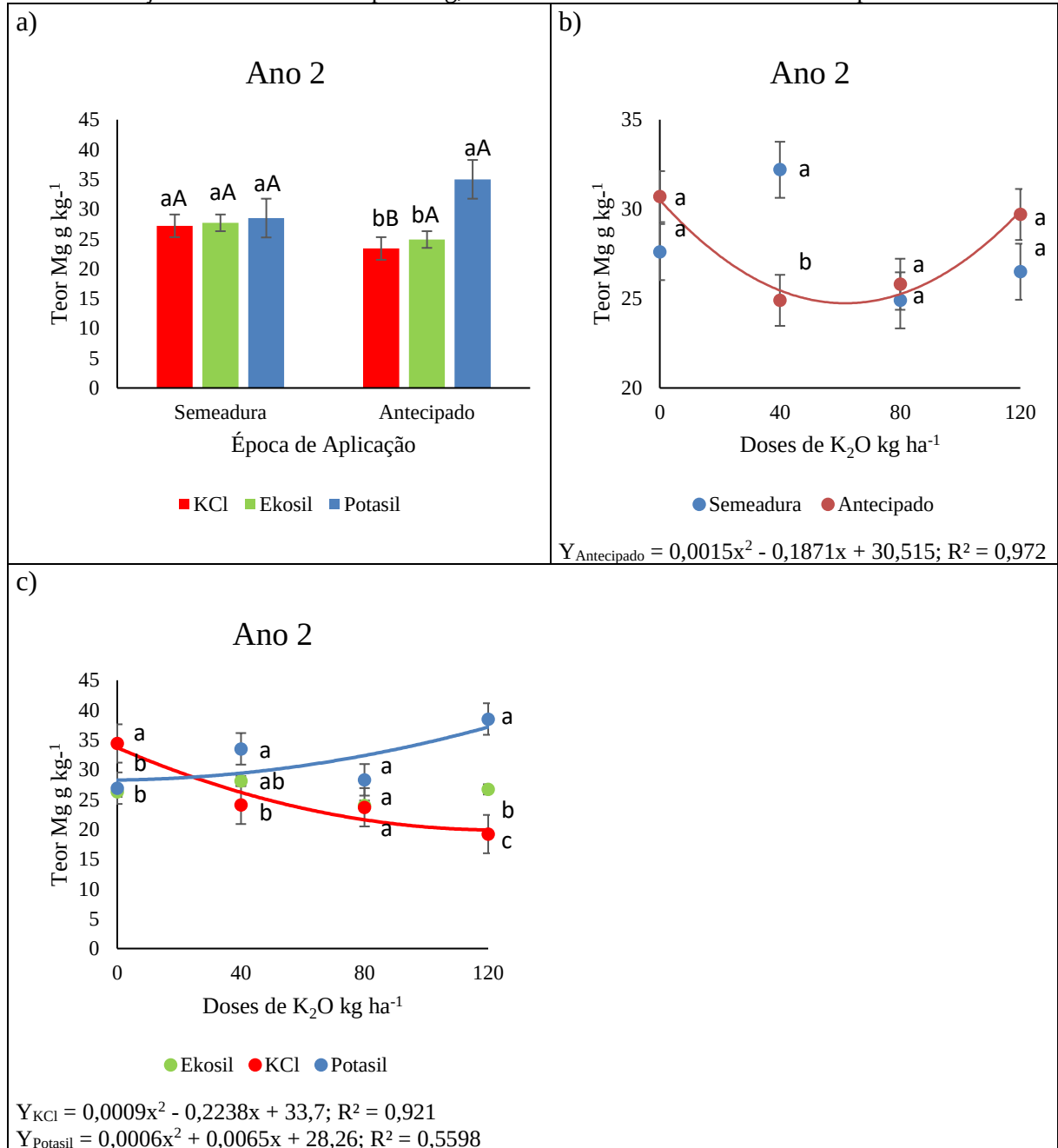
Fonte: Produção da própria autora.

Para Mg, a interação entre fonte e época (Figura 35a), consta que para o Potasil houve destaque para aplicação de forma antecipada, enquanto para os demais não houve efeito significativo. Na interação entre dose e época, houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste quadrático (Figura 35b). Já na interação entre fonte e dose, houve efeito significativo, para KCl na dose 0, Ekosil e Potasil na

dose de 40 e Potasil na dose de 120 kg ha⁻¹, tendo o KCl e Potasil ajuste quadrático (Figura 35c).

Figura 35. a) Interação fonte e época para Mg, letras minúsculas distintas de época dentro da interação, letras maiúsculas distintas de F dentro pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

b) Interação entre dose e época para Mg, com letras distintas entre época à 5% pelo teste F. c) Interação entre dose e fonte para Mg, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.

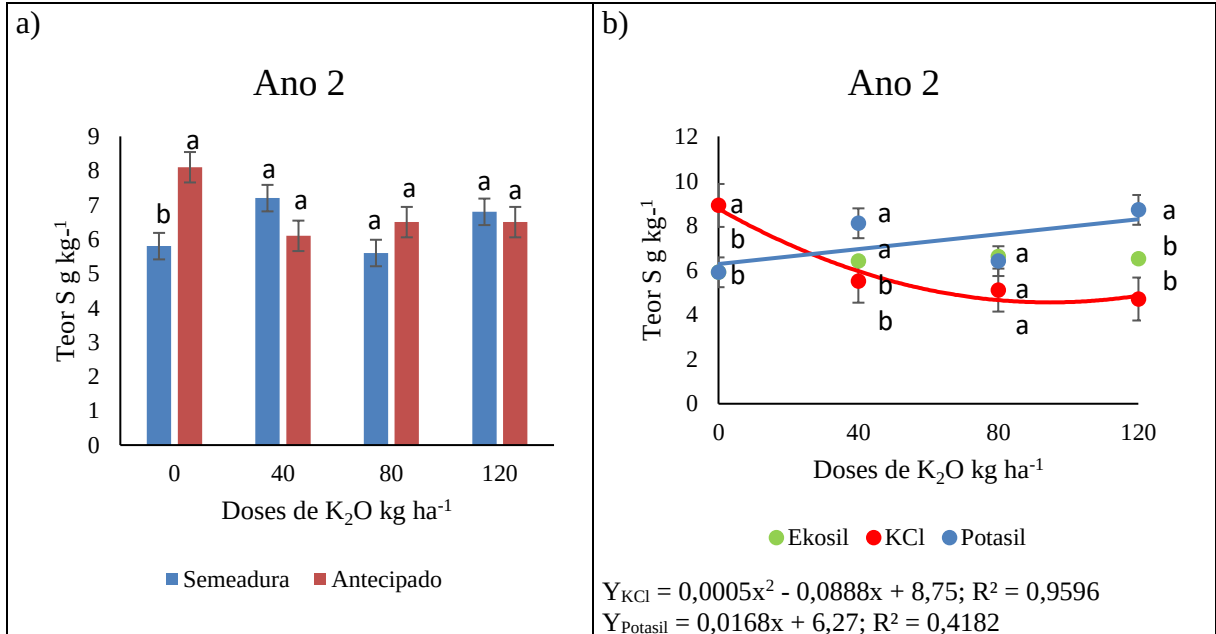


Fonte: Produção da própria autora.

Na interação entre dose e época (Figura 36a), houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, sem ajuste. Na interação de fonte e dose, houve

efeito significativo, para KCl na dose 0, Ekosil e Potasil na dose 40 e Potasil na dose de 120 kg ha⁻¹, tendo o KCl ajuste quadrático e Potasil ajuste linear positivo (Figura 36b).

Figura 36. a) Interação entre dose e época para S, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.
b) Interação entre dose e fonte para S, com letras distintas entre fontes à 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.6.4 Micronutrientes e elementos benéficos (Si e Na) no milho

Segundo a Tabela 15, não houve ajuste de doses para Cu; para fonte não houve significância; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 15, não houve ajuste de doses para Fe; para F não houve significância; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 15, houve ajuste de doses para Mn, com ajuste na função linear positiva; para épocas não houve efeito significativo; para fontes não houve significância. Segundo a Tabela 15, não houve ajuste de doses para Zn; para fontes houve significância para Potasil e Ekosil (Figura 37a); para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada (Figura 37b). Segundo a Tabela 15, houve ajuste de doses para Si, com ajuste na função linear positiva; para fontes não houve significância; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 15, houve ajuste de doses com ajuste na função quadrática e dose ótima de 89,9 kg ha⁻¹; para épocas não houve efeito significativo; para fontes houve efeito significativo para Potasil.

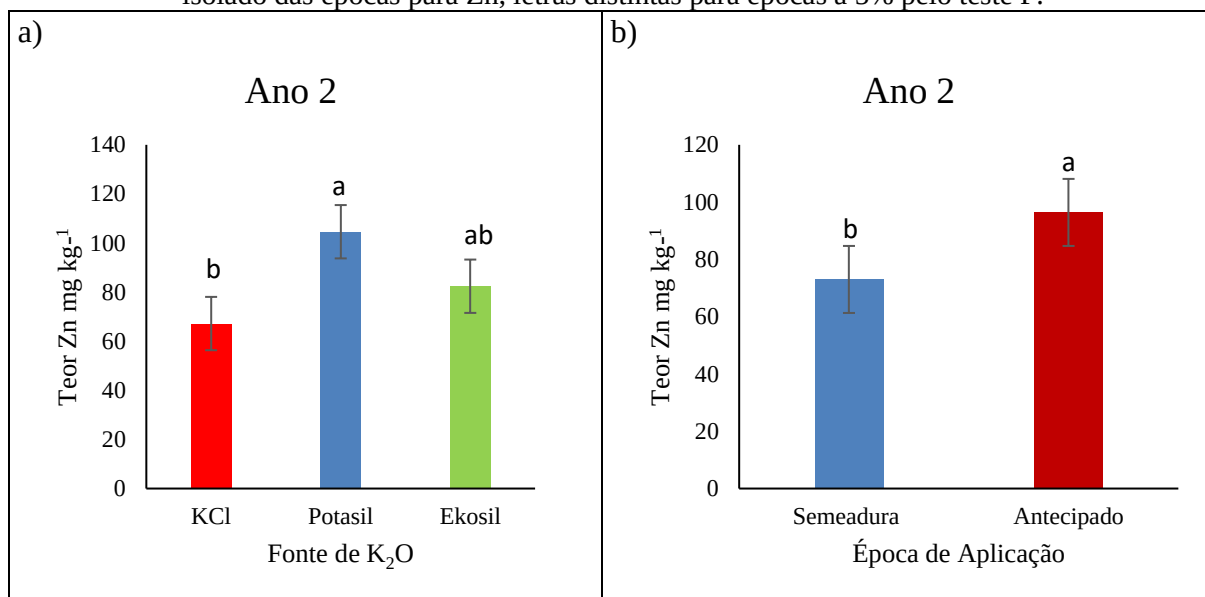
Tabela 15. Médias dos micronutrientes e silício na palhada milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1 Milho						Ano 2 Milho					
	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Na
	mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹
0	-	-	-	-	-	4,7	26,9	837,5	668,2	86,7	10,2	6,5
40	-	-	-	-	-	4,1	45,2	898,4	886,4	86,6	31,1	7,7
80	-	-	-	-	-	3,8	31,7	905,5	826,3	82,8	27,6	6,8
120	-	-	-	-	-	4,4	40,4	1051,1	990,6	82,8	27,7	7,2
Fontes												
KCl	-	-	-	-	-	4,6 a	30,3	912,7	754,3	67,2 b	20,2	6,4 b
Potasil	-	-	-	-	-	4,5 a	35,0	973,6	881,4	104,6 a	27,6	7,9 a
Ekosil	-	-	-	-	-	3,7 a	42,9	883,2	892,9	82,4 ab	24,7	6,8 b
Épocas apl.												
Semeadura	-	-	-	-	-	4,48 a	39,9	889,8	857,4	73,0 b	22,5	7,1
Antecipado	-	-	-	-	-	4,11 a	32,1	956,5	828,3	96,4 a	25,8	6,9
Média	-	-	-	-	-		36,06	923,14	842,9	84,7	24,15	7,04
CV (%)	-	-	-	-	-	31,55	69,57	33,28	28,21	52,63	44,73	10,87

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 37. a) Efeito isolado das fontes das Zn, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das épocas para Zn, letras distintas para épocas a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

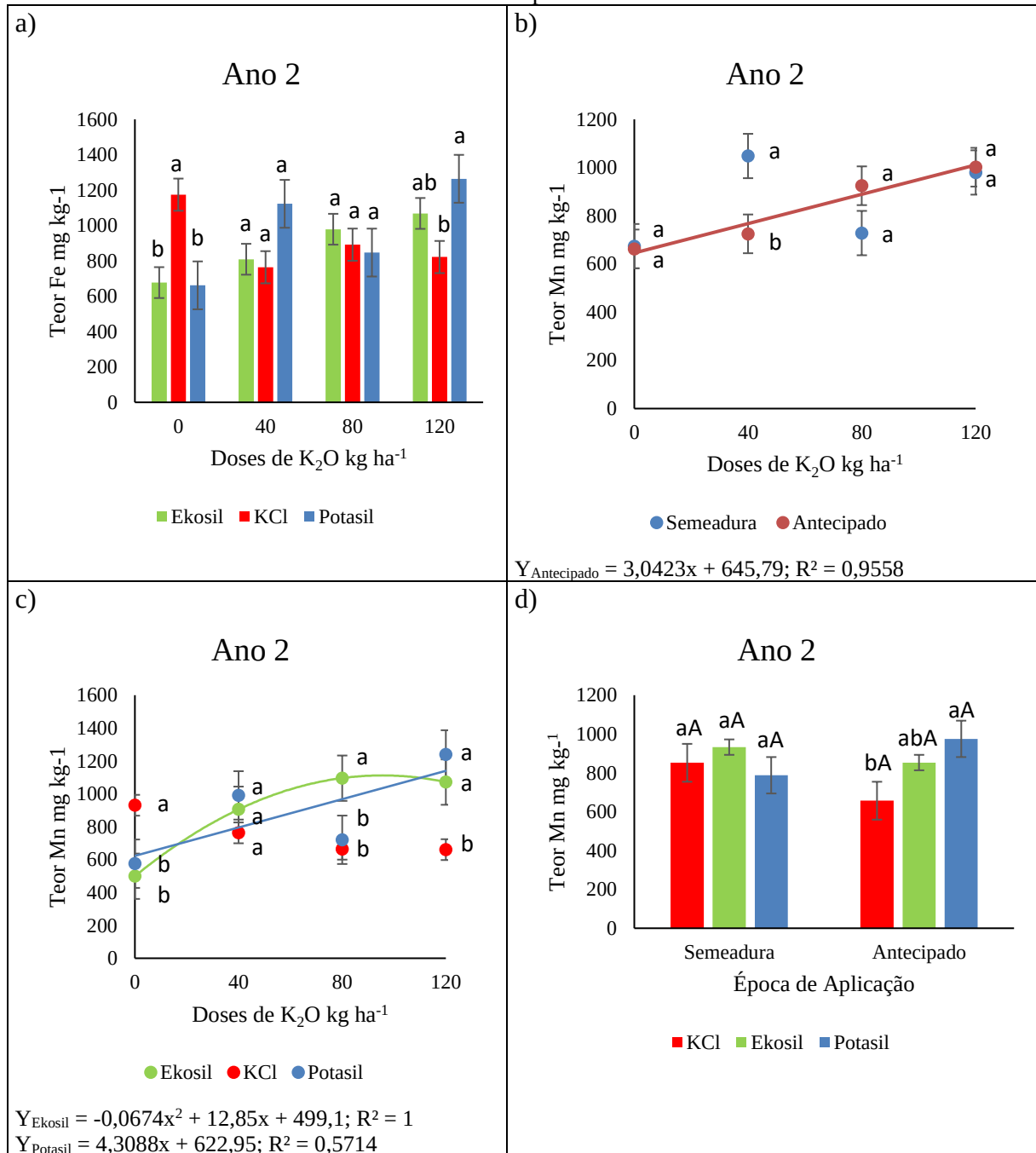
Não foram observados ajustes de doses para o Cu, e as fontes e épocas de aplicação não apresentaram significância estatística. Esses resultados estão alinhados com estudos que indicam que o cobre, devido à sua baixa mobilidade no solo, pode não responder diretamente às aplicações de K₂O em sistemas com níveis adequados do nutriente (Dhaliwal *et al.*, 2019). Embora não tenha havido ajuste de doses para o Zn, o Potasil e o Ekosil foram as fontes mais eficientes, com destaque para a aplicação antecipada como a melhor época. Essas fontes podem ter promovido uma melhor disponibilidade de Zn devido à liberação gradual e à redução da competição com outros cátions no solo (Wyszkowski; Brodowska, 2021). Esses resultados corroboram a literatura, que aponta a importância das fontes alternativas no manejo de micronutrientes (Lamlom *et al.*, 2024).

Para Fe, a interação entre fonte e dose (Figura 38a), houve efeito significativo, para KCl na dose 0 e Ekosil e Potasil na dose de 120 kg ha⁻¹, não houve ajuste de equações. No entanto, a interação entre fonte e dose no Experimento II revelou que o Ekosil e o Potasil se destacaram nas doses de 80 e 120 kg ha⁻¹, com ajuste quadrático para o Ekosil e ajuste linear positivo para o Potasil. Esses resultados sugerem que fontes alternativas de potássio podem melhorar a absorção de Fe em condições específicas (Bernardi *et al.*, 2009; Negasa *et al.*, 2023; Agegnehu *et al.*, 2021).

Para Mn, a interação entre dose e época, houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste linear positivo para aplicação antecipada (Figura 38b). Na interação entre fonte e dose (Figura 38c), houve efeito

significativo, para KCl, na dose zero, para Ekosil na D 80 e Ekosil e Potasil na dose de 120 kg ha⁻¹, tendo o Ekosil ajuste quadrático com dose ótima de 95,33 kg ha⁻¹ e Potasil com ajuste linear positivo. Já na interação entre fonte e época (Figura 38d), consta que para o Ekosil e Potasil tiveram destaque para aplicação de forma antecipada, enquanto para os demais não houve efeito significativo. Entre os micronutrientes avaliados no milho, o manganês (Mn) e o zinco (Zn) apresentaram respostas positivas às doses e às fontes Ekosil e KCl, com ajustes lineares e quadráticos. A maior eficiência da fonte Ekosil no acúmulo de Mn e Zn pode estar associada à liberação gradual desses nutrientes e ao aumento da disponibilidade no solo, como discutido por (Wyszkowski; Brodowska, 2021).

Figura 38. a) Interação dose e fonte para Fe, com letras distintas entre fonte a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para manganês, letras distintas entre época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação entre dose e fonte para manganês, letras distintas entre fonte a 5% pelo teste F. d) Efeito da interação época e fonte para Mn, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F.

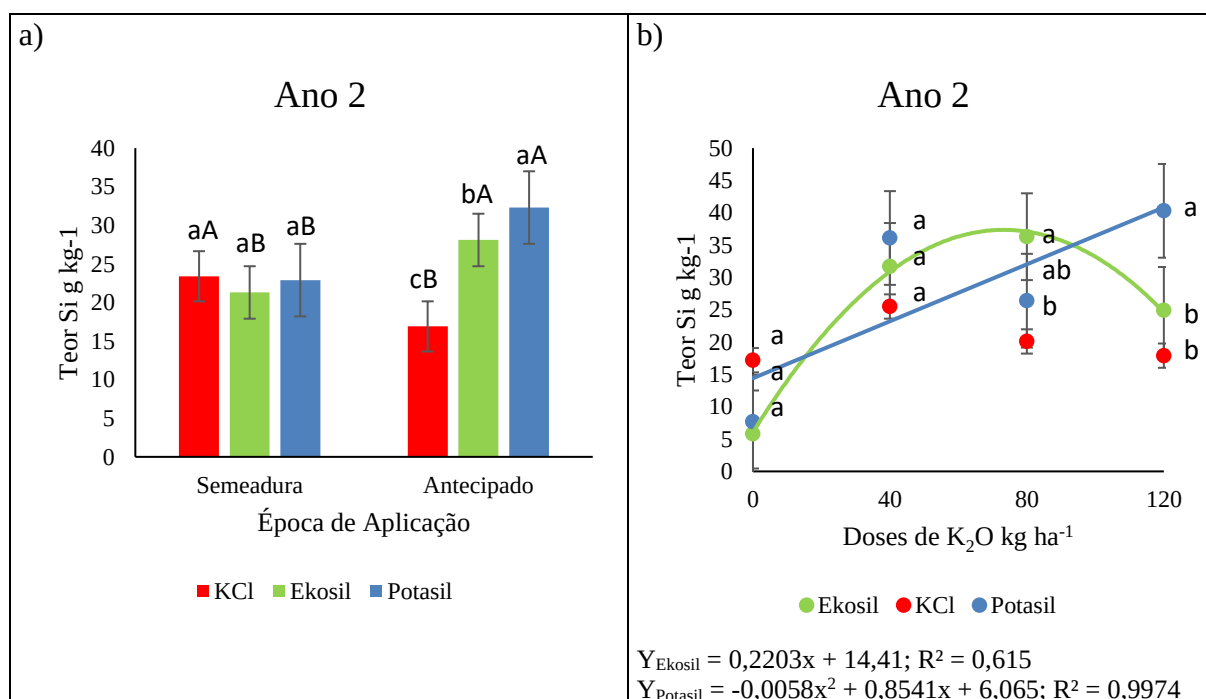


Fonte: Produção da própria autora.

Para Si, a interação entre fonte e época (Figura 39a), consta que para o Potasil houve destaque para aplicação de forma antecipada, enquanto para os demais não houve efeito significativo; já entre as doses, houve destaque para Ekosil e Potasil aplicados na semeadura, enquanto de forma residual não houve efeito significativo para fonte; a interação entre fonte e

dose (Figura 39b), houve efeito significativo, para Ekosil e Potasil na dose de 80 e Potasil na dose de 120 kg ha⁻¹, tendo o Ekosil ajuste linear positivo e Potasil ajuste quadrático com dose ótima de 73,63 kg ha⁻¹ no Ano 2. Esses dados reforçam que o manejo do Si pode ser otimizado em sistemas agrícolas tropicais, como apontado (Lamlom *et al.*, 2024). O silício (Si), por outro lado, apresentou ajuste linear negativo, indicando que doses mais elevadas de K₂O podem reduzir sua assimilação. Este resultado reforça a necessidade de um manejo equilibrado entre os nutrientes, conforme relatado por Lamlom *et al.* (2024). A aplicação na semeadura mostrou-se mais eficiente para o acúmulo de Si, destacando a importância do momento de aplicação na disponibilidade do nutriente.

Figura 39. a) Efeito interação época e fonte para silício, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F. d) Efeito da interação entre doses e fontes para silício, letras distintas diferem entre si pelo teste F.

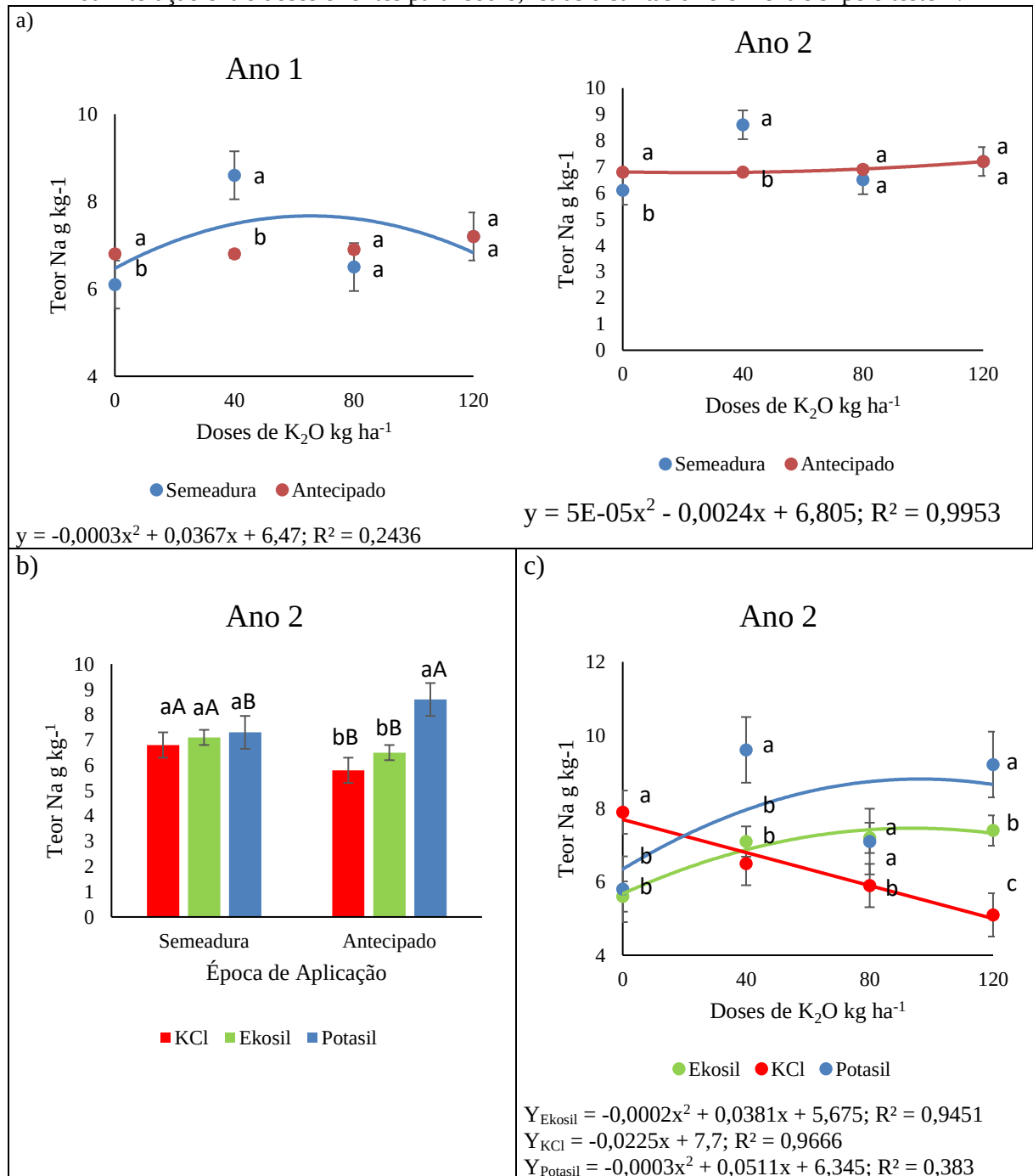


Fonte: Produção da própria autora.

Para sódio na palhada, a interação entre dose e época (Figura 40a), houve ajuste em função da adubação na semeadura a função linear decrescente, diminuindo a quantidade de sódio com o acréscimo das doses, apenas na dose 0 houve diferença significativa, onde à adubação realizada na semeadura foi superior a realizada antecipadamente, enquanto no Ano 2, a interação entre dose e época, houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste quadrático para aplicação antecipada e dose ótima de 61,17 kg ha⁻¹; e para aplicação na semeadura na dose de 40. Na interação entre fonte e época (Figura 40b), consta que Ekosil e KCl tiveram destaque para aplicação na semeadura e para o

Potasil houve destaque para aplicação de forma antecipada; já entre as fontes, houve destaque para Potasil aplicado de forma antecipada. Na interação entre fonte e dose (Figura 40c), houve efeito significativo, para KCl na D 0, Potasil na D 40, Ekosil e Potasil na dose 80 e Potasil na dose 120 kg ha⁻¹, tendo o Ekosil ajuste quadrático, dose ótima de 95,25 kg ha⁻¹, KCl ajuste linear negativo e Potasil ajuste quadrático com dose ótima de 85,17 kg ha⁻¹. Estudos sugerem que o sódio pode atuar como substituto parcial do K em determinadas culturas, desde que manejado adequadamente para evitar toxicidade (Gusmão *et al.*, 2017).

Figura 40. a) Interação dose e época para sódio, letras diferem entre si pelo teste F. b) Interação fonte e época para sódio, letras minúsculas distintas para época, letras maiúsculas distintas para F. c) Efeito da interação entre doses e fontes para sódio, letras distintas diferem entre si pelo teste F.



4.7 Acúmulo de Nutrientes nos Grãos

4.7.1 Macronutrientes na Soja

Segundo a Tabela 16, não houve ajuste de doses para N; para fonte houve significância, destacando Potasil e Ekosil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 16,

não houve ajuste de doses para P; para fonte houve significância, com destaque para Potasil e Ekosil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 16, não houve ajuste de doses para K; para épocas não houve efeito significativo; para fonte não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 16, não houve ajuste de doses para Ca; para fonte houve significância Potasil e Ekosil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 16, não houve ajuste de doses para Mg; para fonte não houve efeito significativo; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação antecipada. Segundo a Tabela 16, houve ajuste de doses para S, com ajuste na função linear positiva; para época houve efeito significativo com destaque para aplicação antecipada; para fonte não houve efeito significativo.

Tabela 16. Médias para os macronutrientes nos grãos de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

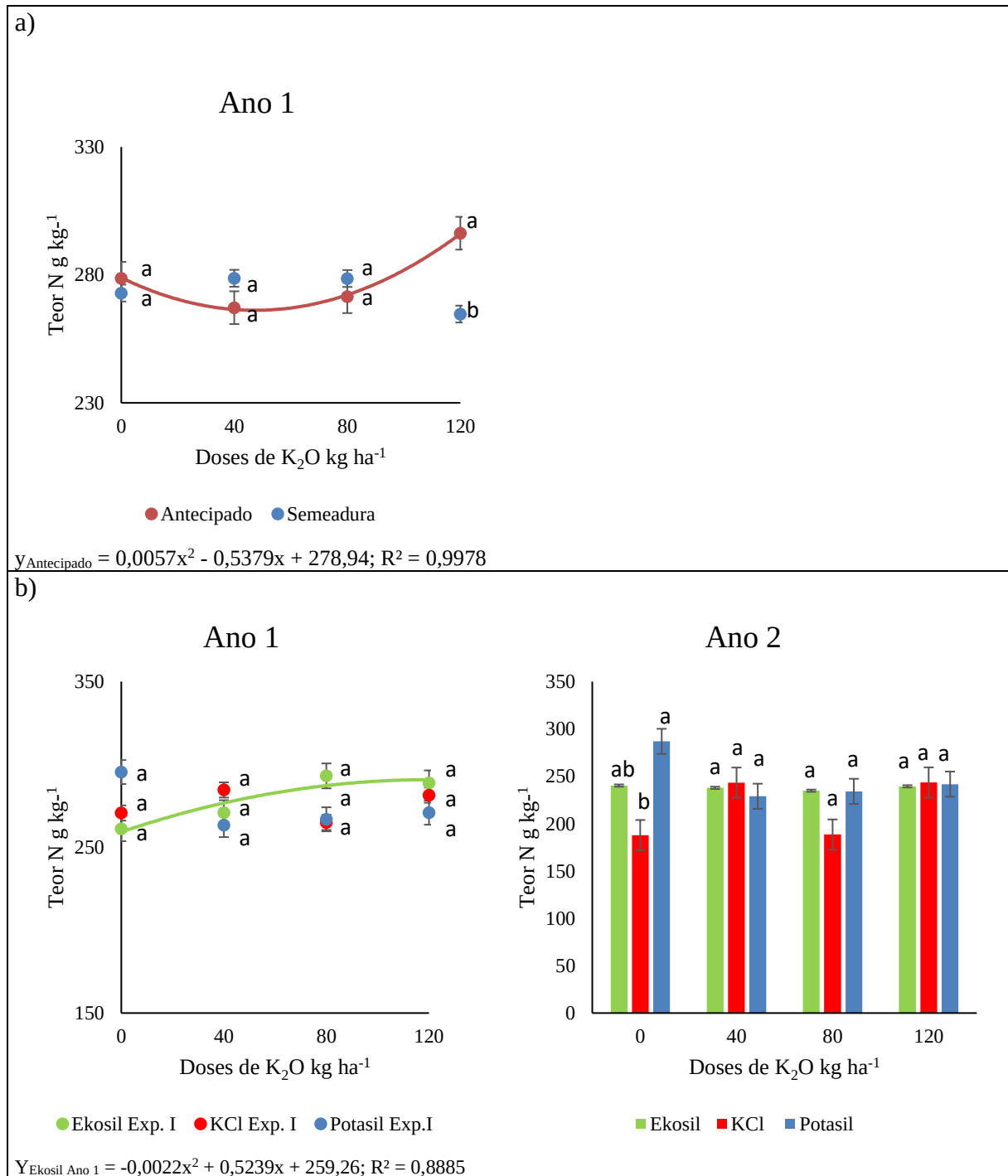
Doses de K ₂ O	N	P	Ano 1 Soja				Ano 2 Soja				Mg	S
			K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca		
			----- g kg ⁻¹ -----									
0	275,8	32,1	105,3	12,8	9,8	11,8	238,4	20,1	58,4	13,6	12,1	8,0
40	272,9	31,5	111,6	15,8	11,2	10,7	263,7	19,6	57,4	13,8	11,7	8,1
80	275,0	30,9	108,4	15,9	10,8	11,4	219,1	19,7	56,8	13,5	11,8	8,9
120	280,5	31,4	111,6	15,6	11,2	11,2	241,5	20,2	59,7	14,3	12,2	8,9
Fontes												
KCl	275,5	30,8	105,9	13,6 b	10,3	11,5	215,8 b	18,8 b	56,6	13,4	11,7	8,5
Potasil	274,2	32,1	109,3	14,9 ab	10,8	11,2	247,9 a	20,8 a	60,5	14,0	12,4	8,5
Ekosil	278,6	31,6	112,4	16,6 a	11,3	11,2	238,0 ab	20,2 ab	57,1	13,9	11,7	8,4
Épocas apl.												
Antecipado	278,4	31,8	107,4	14,6	10,3 b	10,3 b	230,1	19,7	58,6	13,9	12,1	8,5
Semeadura	273,7	31,2	110,9	15,4	11,2 a	12,3 a	237,8	20,1	57,6	13,7	11,8	8,5
Média	276,1	31,49	109,21	15,04	10,77	11,29	233,93	19,93	58,08	13,79	11,98	8,49
CV (%)	9,02	9,70	12,53	26,94	17,47	22,91	18,27	12,98	10,67	11,06	13,27	14,15

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Para N, na interação entre dose e época (Tabela 91), houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste quadrático (Figura 41a) no Ano 1. Na interação entre fonte e dose, houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ no Ano 2, com destaque para Ekosil e Potasil, tendo o Ekosil ajuste quadrático com D ótima de 119,07 kg ha⁻¹ (Figura 41b) no Ano 1. No entanto, fontes como Potasil e Ekosil apresentaram maior acúmulo de N nos grãos, o que pode ser explicado pela maior eficiência destas fontes em liberar nutrientes gradualmente, conforme relatado por He *et al.* (2022).

Figura 41. a) Efeito da interação entre dose e época para N, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação para fontes e doses para N, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.

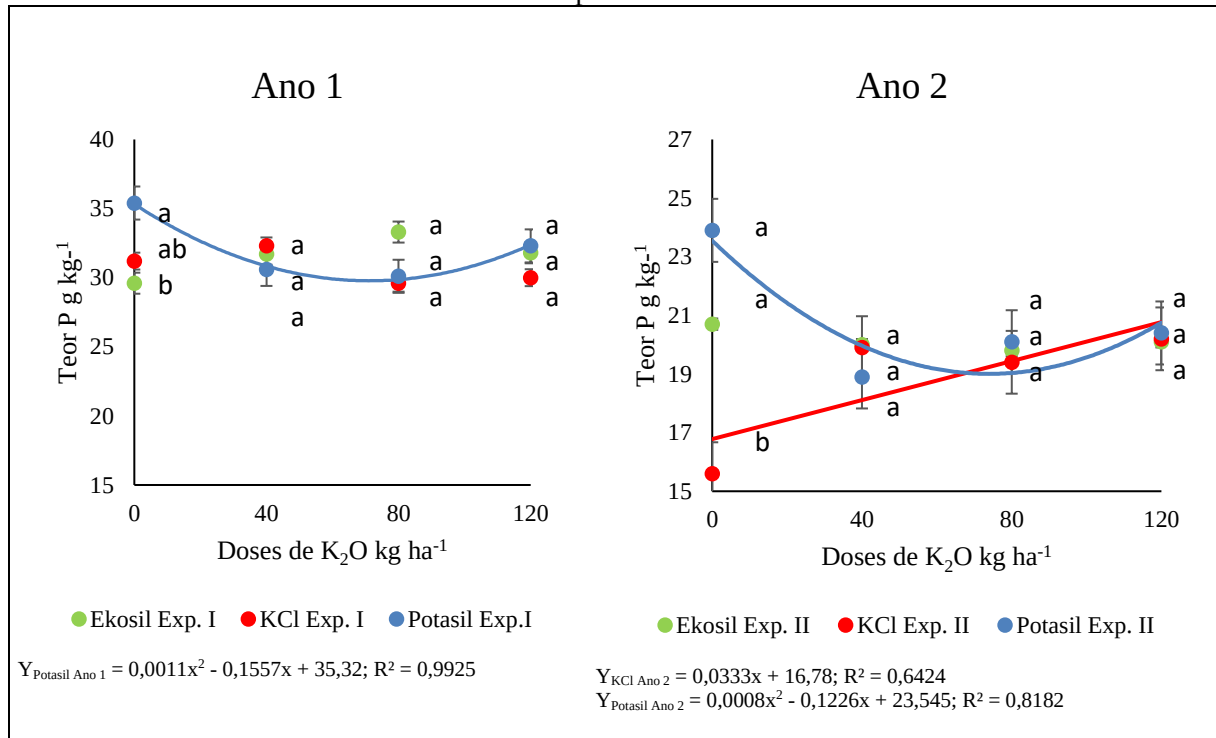


Fonte: Produção da própria autora.

Para P, na interação entre fonte e dose (Figura 42), houve efeito significativo, para KCl e Potasil na dose de 0 kg ha⁻¹ no Ano 1, e para Ano 2, destaque para Ekosil e Potasil na dose 0, tendo o Potasil Ano 1 ajuste quadrático, KCl e Potasil Ano 2 ajuste linear positivo e ajuste

quadrático, respectivamente. A ausência de resposta significativa à época para ambos os nutrientes reforça a ideia de que o manejo da fonte é um fator preponderante.

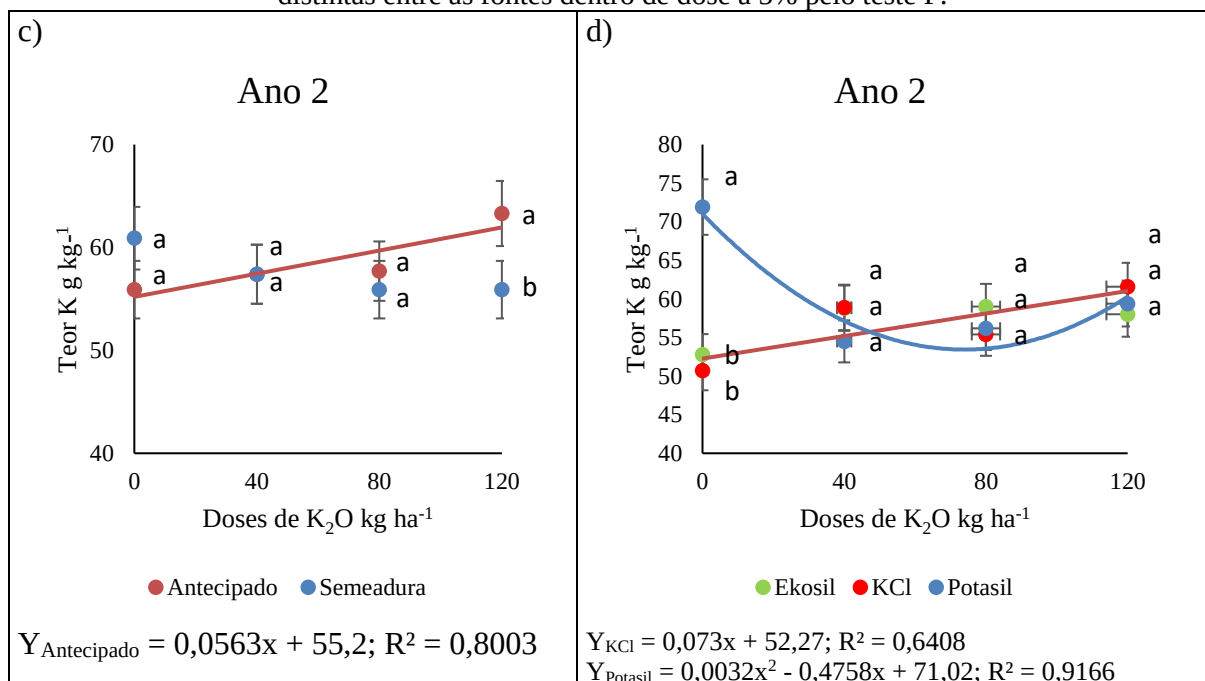
Figura 42. Efeito da interação para fontes e doses para P, letras distintas entre as fontes dentro de dose a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para K, a interação entre dose e época (Figura 43a), houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear positivo para aplicação antecipada na interação entre fonte e dose (Figura 43b), houve efeito significativo, para Potasil na dose 0, tendo o KCl ajuste linear positivo e Potasil ajuste quadrático.

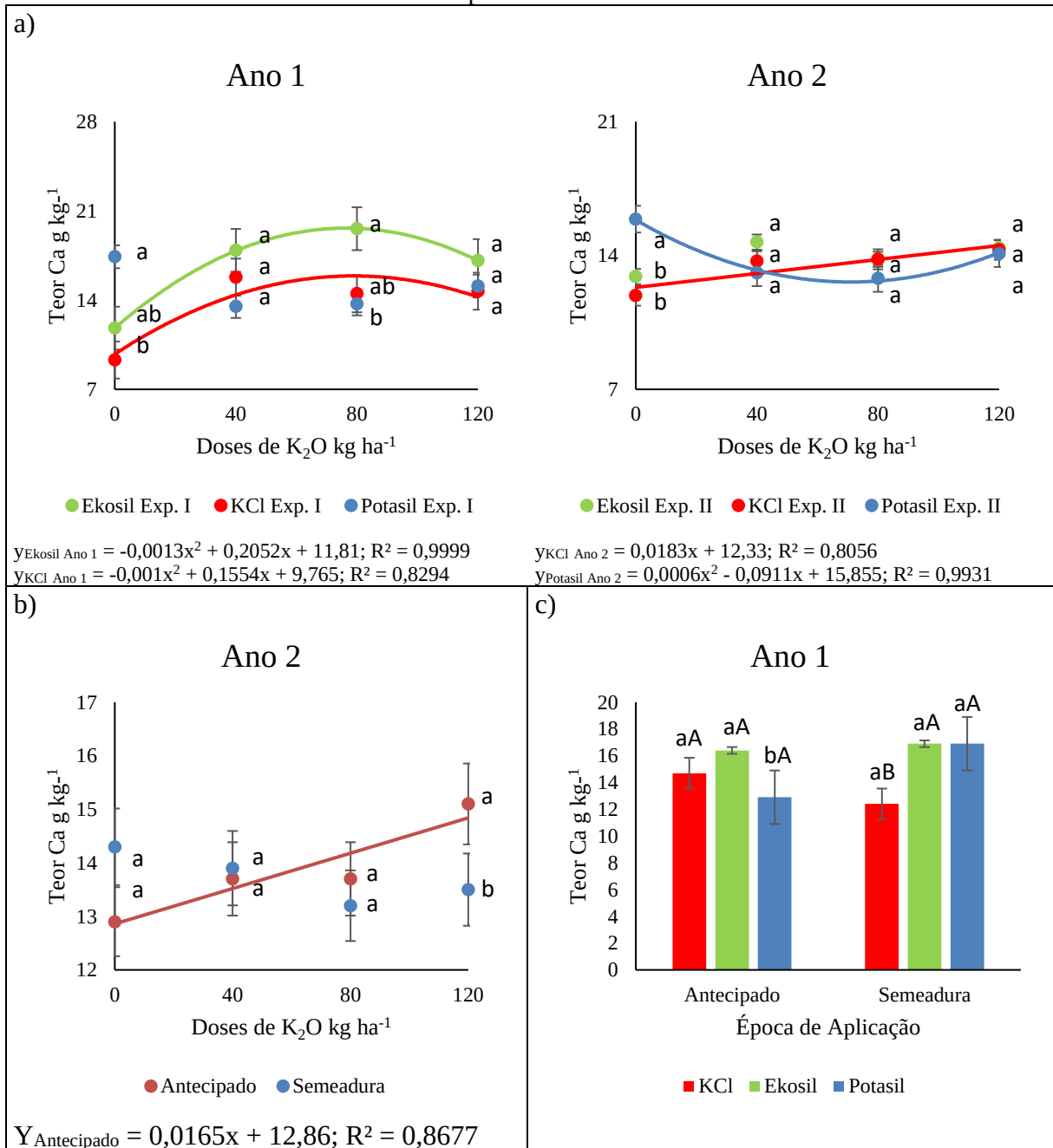
Figura 43. a) Efeito da interação entre dose e época de aplicação para K, letras distintas entre as épocas dentro de doses a 5% pelo teste F. b). Efeito da interação entre dose e época para K. Letras distintas entre as fontes dentro de dose a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Ca, na interação entre fonte e dose (Figura 44a), houve efeito significativo, para Ekosil e Potasil na dose 0 e Ekosil e KCl na dose 80, tendo o Ekosil ajuste quadrático com dose ótima de 78,92 kg ha⁻¹ Ano 1, KCl Ano 1 ajuste quadrático com dose ótima de 77,7 kg ha⁻¹ e ajuste linear positivo Ano 2 e Potasil Ano 2 ajuste quadrático com dose ótima de 75,92 kg ha⁻¹. Na interação entre dose e época (Figura 44b), houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear positivo. Já na interação entre fonte e época constam que para o Ekosil e Potasil houve destaque para aplicação na semeadura; já entre as fontes, houve destaque para Potasil, com destaque para aplicação na semeadura, enquanto de forma residual não houve efeito significativo para fontes (Figura 44c).

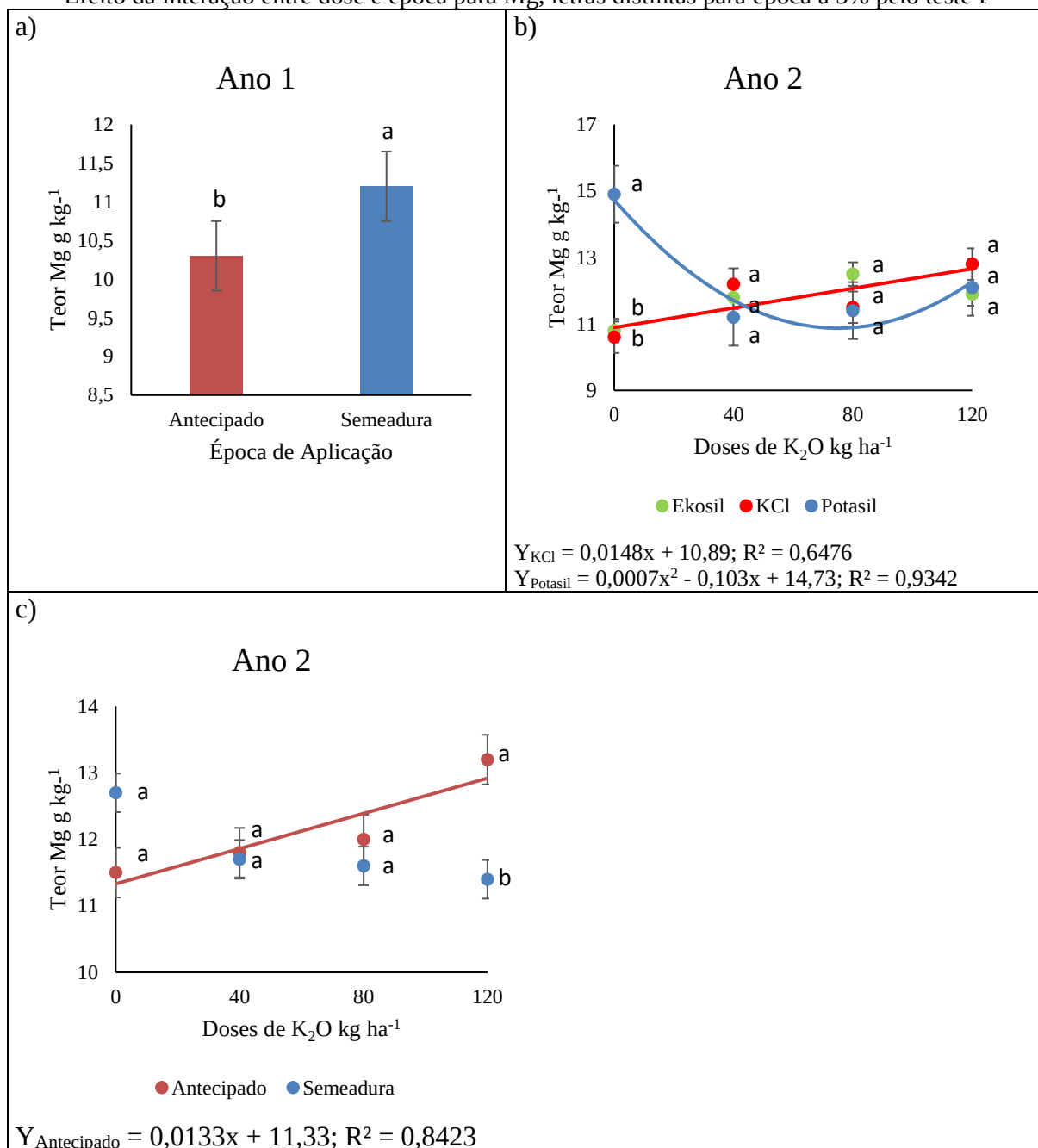
Figura 44. a) Efeito da interação para fonte e dose para Ca, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para Ca, letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para Ca, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Mg, consta na Figura 45a o efeito significativo isolado de época, com destaque para semeadura, já na interação entre dose e época (Figura 45b), houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear positivo; a interação entre fonte e dose (Figura 45c), houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ com destaque para Potasil, tendo o KCl ajuste linear positivo e Potasil ajuste quadrático no Ano 2.

Figura 45. a) Efeito isolado de época para Mg, letras diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e fonte de aplicação para Mg, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. c). Efeito da interação entre dose e época para Mg, letras distintas para época a 5% pelo teste F

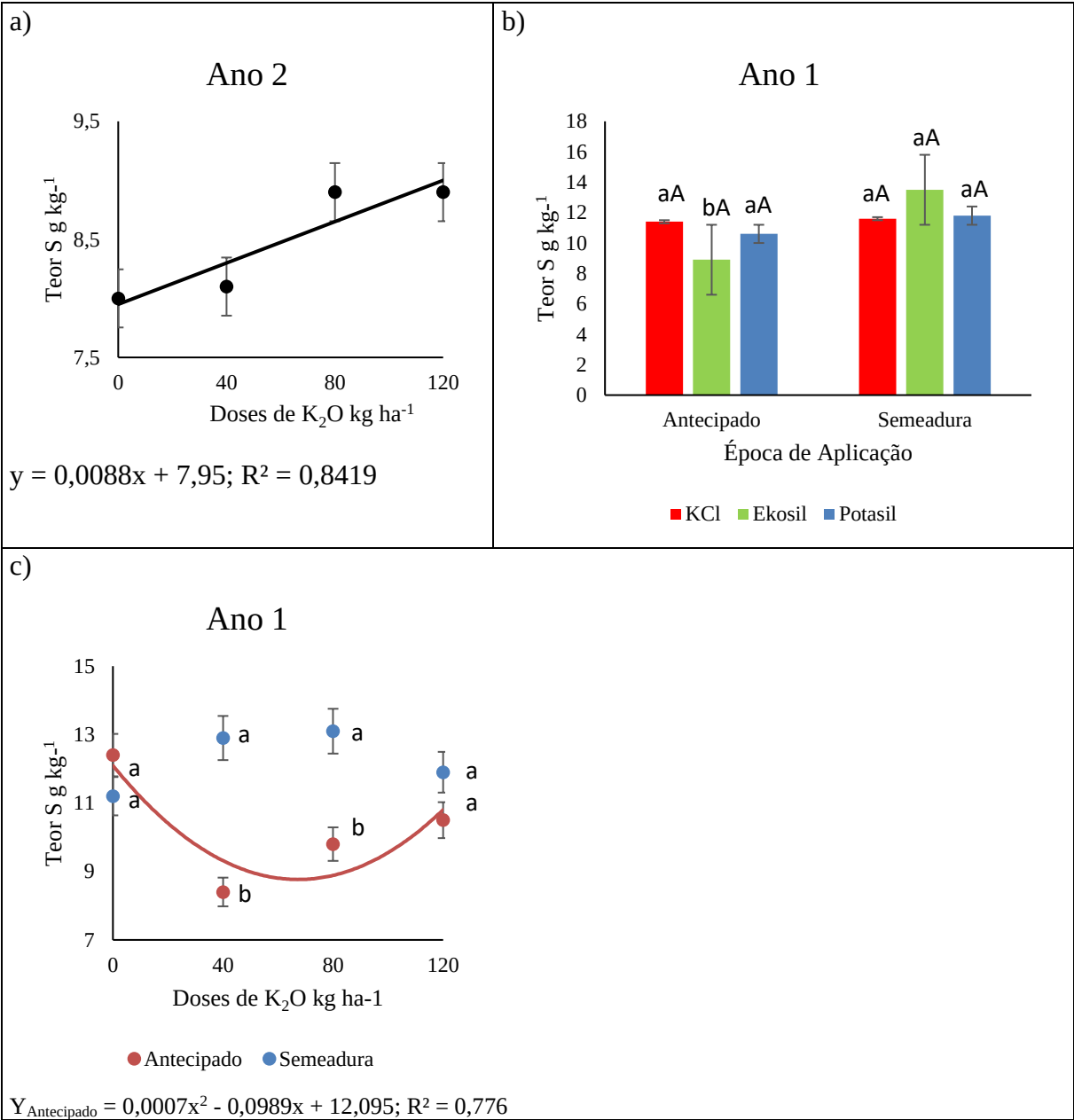


Fonte: Produção da própria autora.

Para S, a Figura 46a consta o efeito isolado de doses com ajuste linear crescente, logo, quanto maior a dose, maior o incremento do nutriente no grão, já na interação entre fonte e época (Figura 46b), consta que para o Ekosil houve destaque para aplicação na semeadura, enquanto para os demais não houve efeito significativo; a interação entre dose e época (Figura 46c), houve efeito significativo, para dose de 40 e 80 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste quadrático para aplicação antecipada. O acúmulo de enxofre (S)

destacou-se por apresentar ajuste linear positivo às Doses, corroborando estudos que apontam o papel do S em melhorar a assimilação de nitrogênio e outros macronutrientes na soja (Głowacka *et al.*, 2023). Adicionalmente, a aplicação antecipada mostrou-se mais eficiente para o acúmulo de S, possivelmente devido à maior disponibilidade do nutriente nas fases iniciais do desenvolvimento da planta.

Figura 46. a) Efeito isolado das doses para S. b) Efeito da interação entre época e fonte para S, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F. c) Interação entre dose e época para S, letras distintas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.7.2 Micronutrientes e elementos benéficos (Si e Na) na Soja

Segundo a Tabela 17, não houve ajuste de Doses para Cu, Fe, Mn, Zn, B e Na; para F houve significância apenas para Zn (Figura 47a); para épocas houve efeito significativo apenas para Zn (Figura 47b). Segundo a Tabela 17, houve ajuste de doses para Si, com ajuste na função quadrático Ano 2; para época houve efeito significativo com destaque para aplicação antecipada; para F houve destaque para KCl.

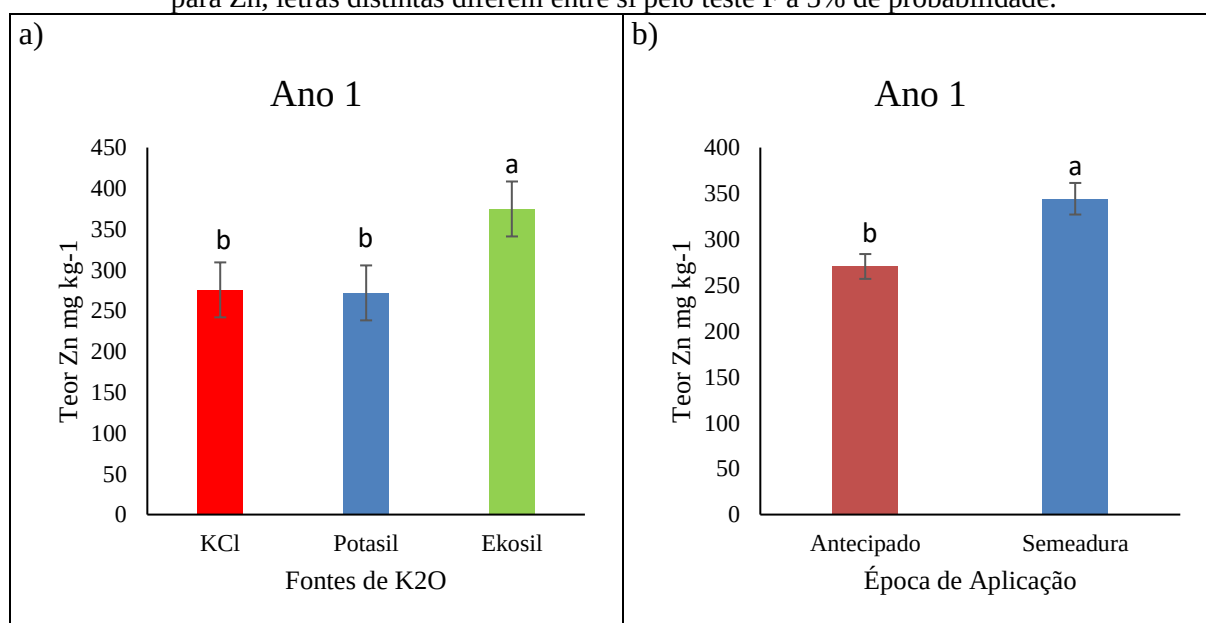
Tabela 17. Médias para os micronutrientes, silício e sódio nos grãos de soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O	Ano 1 Soja						Ano 2 Soja					
	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Na
	mg kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
0	72,8	498,5	278,3	279,5	0,36	177,7	101,1	818,4	129,2	173,6	5,75	3,03
40	67,7	534,3	274,2	323,4	0,42	192,6	143,6	752,7	128,5	186,1	4,59	3,2
80	66,1	515,7	272,5	329,9	0,55	187,1	121,7	755,0	129,2	197,4	4,14	2,9
120	68,6	520,4	279,2	296,9 ^{ns}	0,46	191,9	125,5	698,0	134,1	183,2	4,29	3,0
Fontes												
KCl	66,8	487,6	268,9	275,5 b	0,48	184,6	134,9	782,9	127,5	170,9	5,75 a	2,86
Potasil	70,7	510,9	281,1	271,8 b	0,39	198,0	130,1	866,6	136,3	202,0	4,24 b	3,17
Ekosil	68,8	553,1	277,9	374,7 a	0,46	179,4	103,9	618,5	127,1	182,4	4,09 b	3,15
Épocas apl.												
Antecipado	67,2	491,8	279,7	270,4 b	0,48	192,4	114,9	775,9	131,9	181,7	5,14 a	3,1
Semeadura	70,3	542,6	272,4	344,2 a	0,42	182,3	131,0	736,2	128,6	188,4	4,24 b	3,0
Média	68,78	517,22	276,03	307,3	0,45	187,35	123,0	756,04	130,27	185,08	4,70	3,06
CV (%)	12,66	27,85	13,04	51,73	61,56	14,48	112,8	52,86	12,38	27,43	18,45	18,59

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

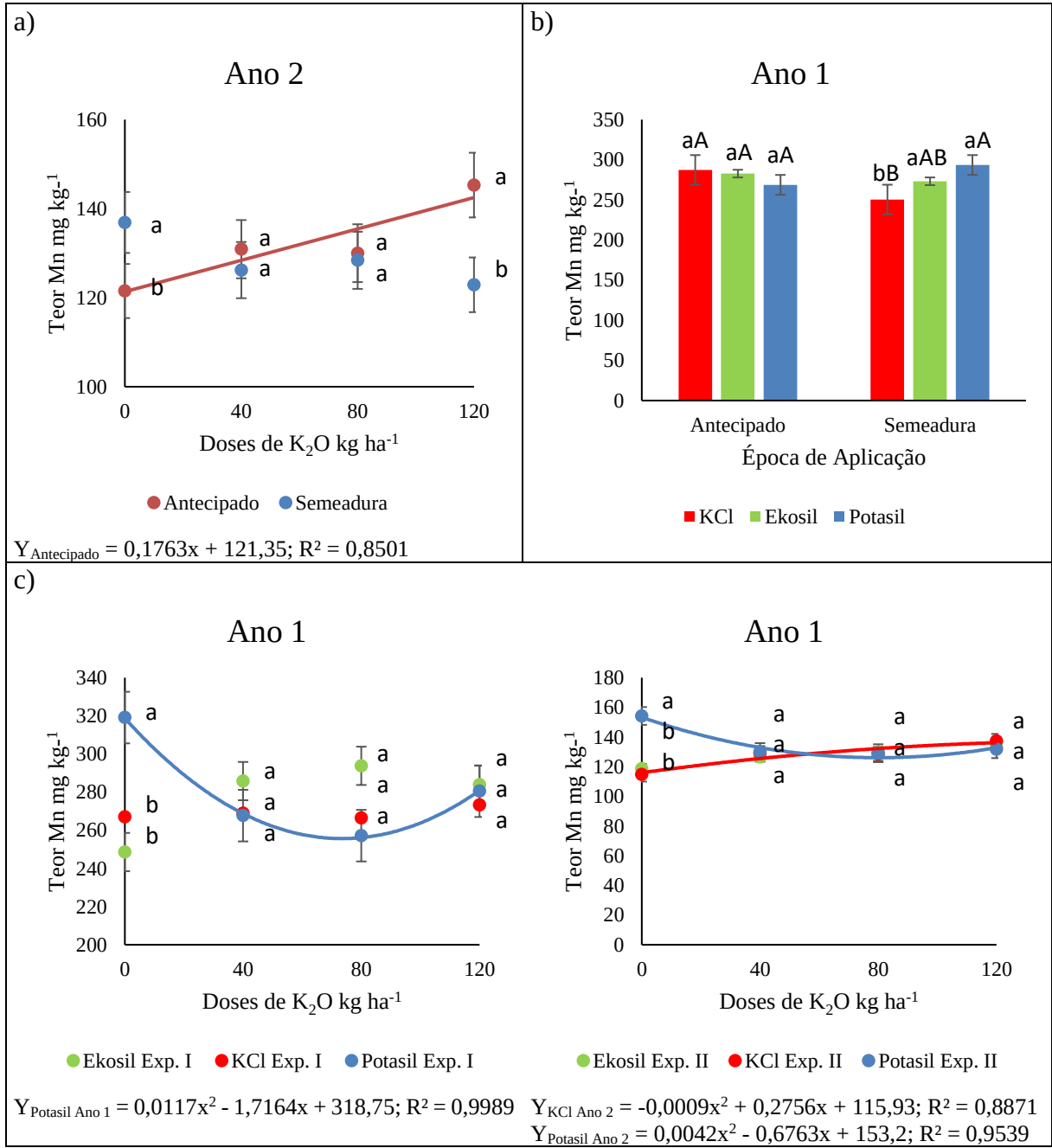
Figura 47. a) Efeito isolado do Zn, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado para Zn, letras distintas diferem entre si pelo teste F à 5% de probabilidade.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Mn, na interação entre dose e época (Figura 48a), houve efeito significativo, para dose de 0 e 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura e antecipada, respectivamente, com ajuste linear positivo para aplicação antecipado. Na interação entre fonte e época (Figura 48b), consta que para o KCl houve diferença significativa, destacando aplicação antecipada, quando comparada às fontes, Ekosil e Potasil se destacaram para aplicação na semeadura. Na interação entre fonte e dose (Figura 48c), houve efeito significativo, para Potasil nos dois anos para dose 0, tendo ajuste linear positivo KCl e Potasil Ano 2.

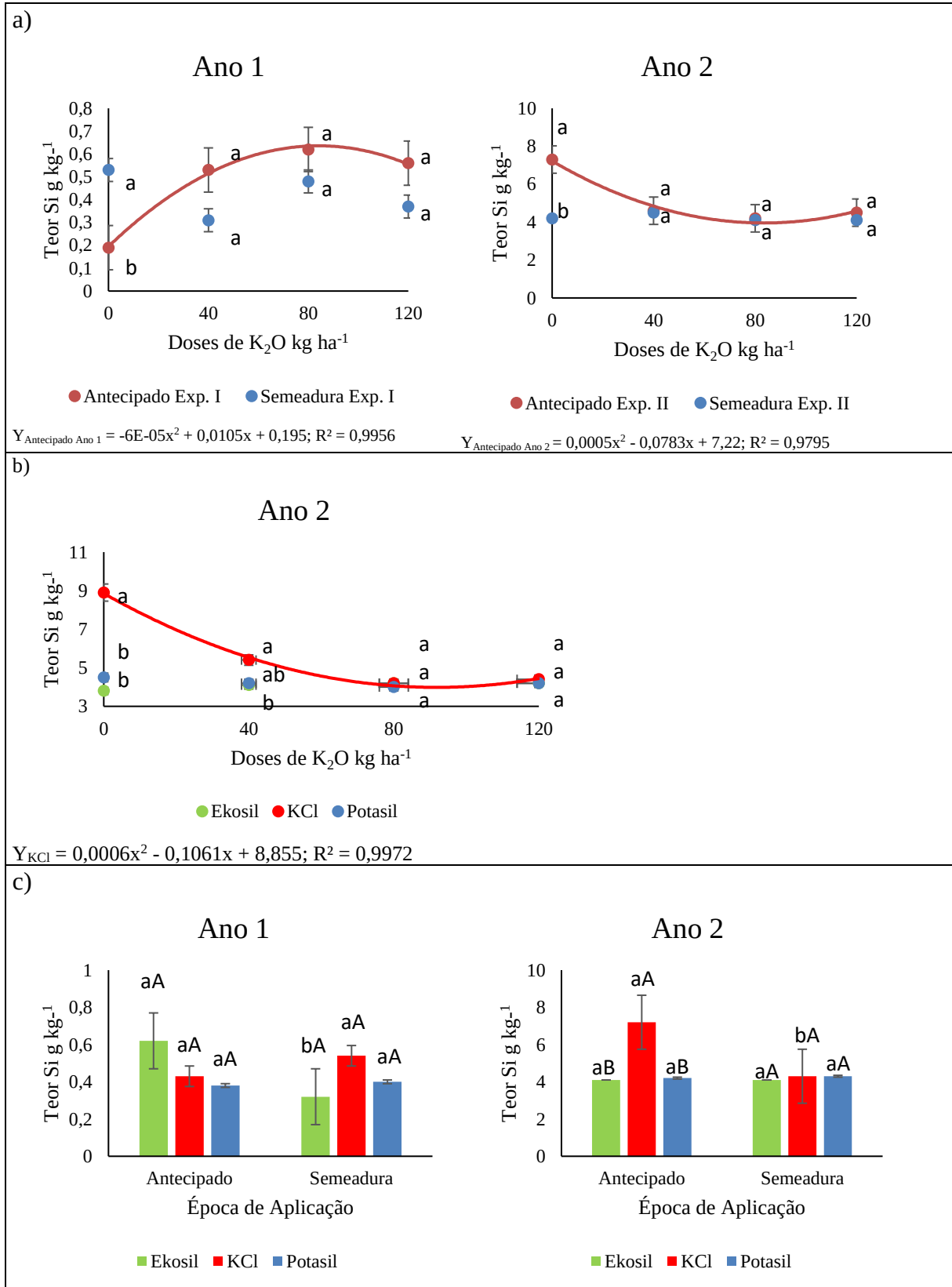
Figura 48. a) Efeito da interação das doses com época para Mn, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Interação época e fonte para Mn, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F. c) Interação dose e fonte para Mn, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Si, na interação entre dose e época (Figura 49a) houve efeito significativo, para dose de 0 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura e ajuste quadrático. Na interação entre Fonte e dose (Figura 49b), houve efeito significativo, para KCl dose de 0 kg ha⁻¹ e KCl e Potasil na dose de 120 kg ha⁻¹, tendo o KCl ajuste quadrático no Ano 2. Já na interação entre fonte e época (Figura 49c), consta que para o Ekosil Ano 1 e KCl Ano 2 se destacaram na aplicação antecipada, KCl se destacou entre as fontes para aplicação antecipada. A aplicação antecipada foi mais eficiente para o acúmulo de Si nos grãos, alinhando-se ao trabalho de Lamlom *et al.* (2024), que ressalta o papel do Si na mitigação de estresses abióticos e na melhoria da qualidade dos grãos.

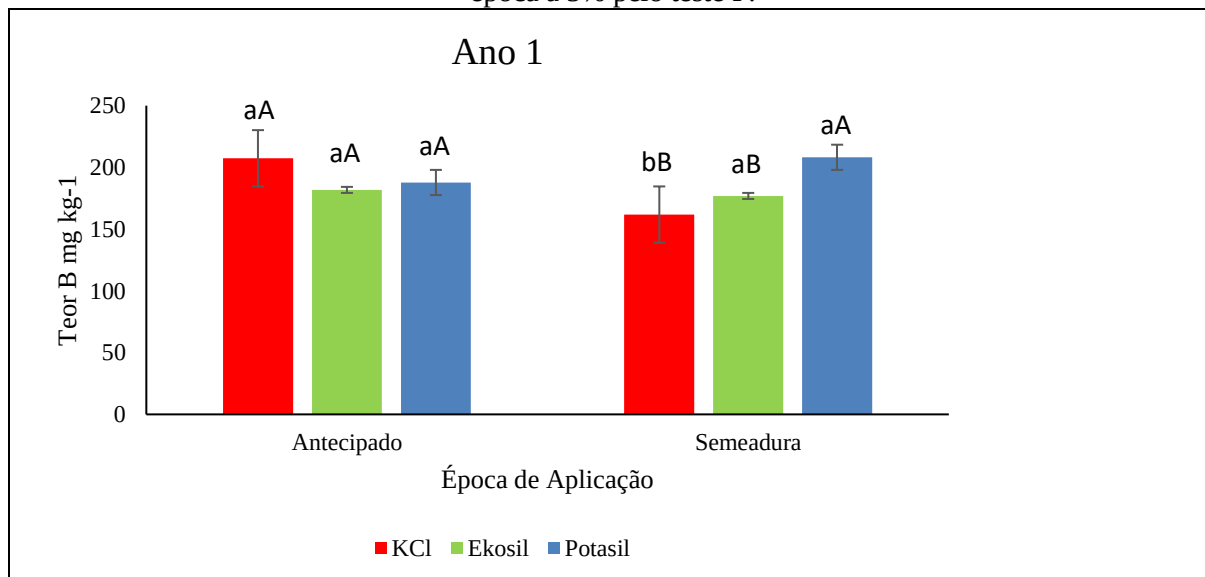
Figura 49. a) Interação dose e época para Si, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Interação dose e fonte para Si, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. c) Interação fonte e época para Si, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para B, na interação entre fonte e época (Figura 50), consta que para o Potasil houve destaque para aplicação na semeadura; já entre as fontes, houve destaque para KCl aplicados de forma antecipada.

Figura 50. Interação época e fonte para B, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.7.3 Macronutrientes no Milho

Segundo a Tabela 18, não houve ajuste de doses para N; para fontes houve significância com destaque para Ekosil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 18, houve ajuste de doses para P, com ajuste na função linear positiva; para F não houve significância; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 18, não houve ajuste de doses para K; para épocas houve efeito significativo na semeadura para Potasil e Ekosil; para fonte houve significância, para Ekosil. Segundo a Tabela 18, houve ajuste de doses para Ca, com ajuste na função quadrática; para fonte houve significância, para Potasil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 18, houve ajuste de doses para Mg, com ajuste na função linear positiva; para fonte houve significância, para Ekosil; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 18, houve ajuste de doses para S, com ajuste na função quadrática e dose ótima de 77 kg ha⁻¹; para épocas não houve efeito significativo; para fonte houve significância, para Potasil.

Tabela 18. Médias para os macronutrientes nos grãos de milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

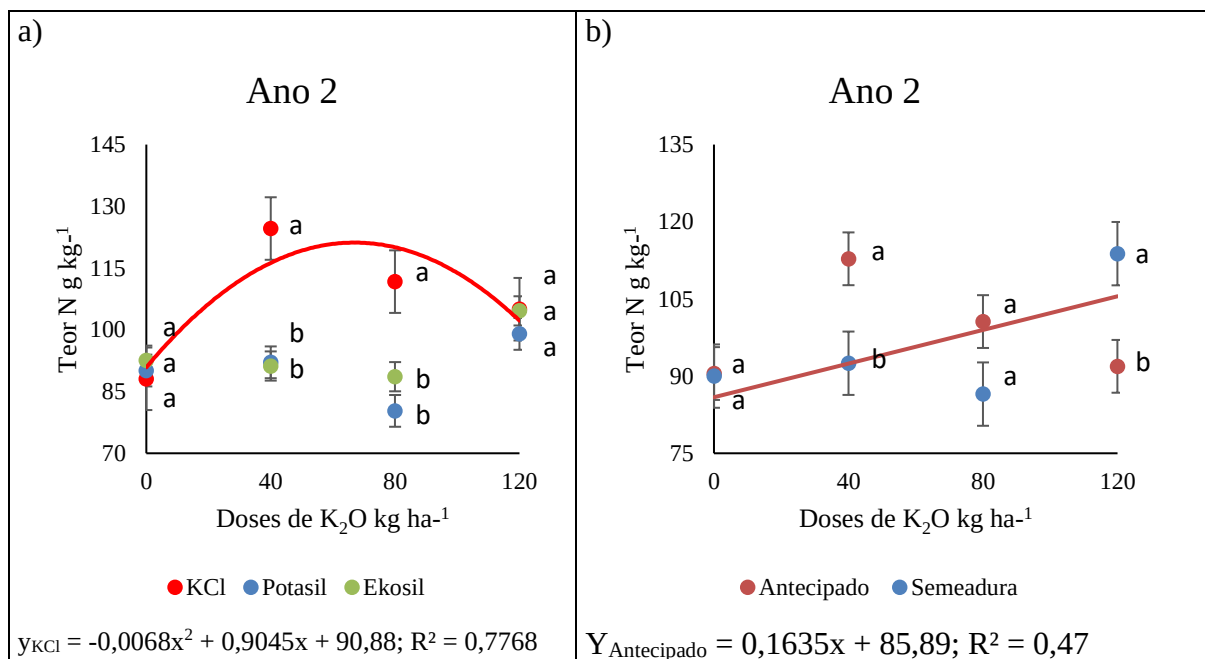
Doses de K ₂ O	N	P	Ano 1 Milho				Ano 2 Milho				S		
			K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca		Mg	
			g kg ⁻¹										
0	-	-	1,85	1,35	-	-	90,3	9,45	30,	2,2	5,7	5,4	
40	-	-	2,67	1,58	-	-	102,7	12,4	34,9	1,9	6,9	6,1	
80	-	-	2,37	1,42	-	-	93,5	11,5	32,9	1,8	6,5	5,8	
120	-	-	2,97	1,78	-	-	102,9	12,5	33,4	1,9	6,9	5,8	
Fontes													
KCl	-	-	2,75 a	1,86	-	-	90,3 b	11,5 ab	31,1 b	1,8 b	6,4 ab	5,6 b	
Potasil	-	-	2,42 a	1,45	-	-	94,2 b	10,6 b	31,7 ab	1,9 b	6,1 b	5,8 ab	
Ekosil	-	-	2,22 a	1,27	-	-	107,4 a	12,3 a	35,9 a	2,2 a	7,1 a	6,1 a	
Épocas apl.													
Semeadura	-	-	2,48 a	1,59 a	-	-	99,2	11,3	34,4 a	2,0	6,7	5,8	
Antecipado	-	-	2,45 a	1,46 a	-	-	95,4	11,7	31,4 b	1,9	6,3	5,7	
Média	-	-					97,3	11,5	32,9	1,9	6,5	5,8	
CV (%)	-	-	63,04	45,60	-	-	16,9	18,4	18,9	11,0	17,9	11,4	

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Para N, a interação entre fonte e dose (Figura 51a), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para Potasil, tendo KCl ajuste quadrático com dose ótima de 66,51 kg ha⁻¹; na interação entre dose e época (Figura 51b), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear positiva, e para dose de 120 kg ha⁻¹ para aplicação na semeadura, sem ajuste.

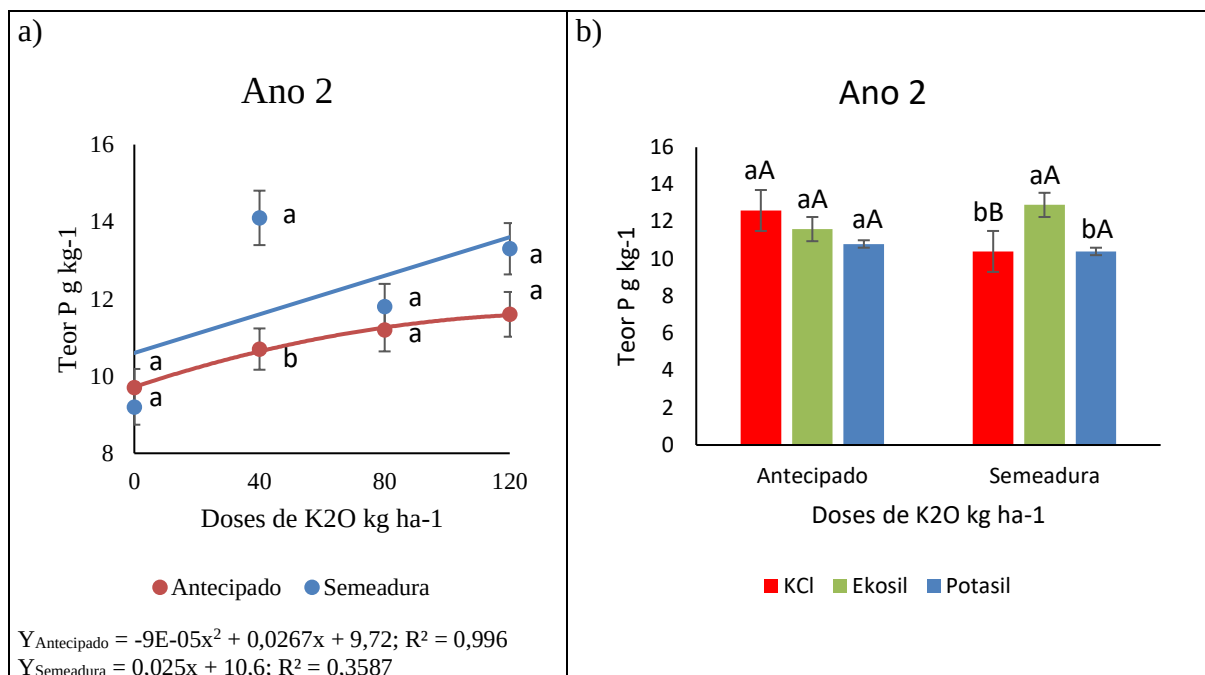
Figura 51. a) Interação dose e fonte para N, letras distintas para fontes a 5% pelo teste F. b) Interação dose e época para N, letras distintas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para P, na interação entre dose e época (Figura 52a), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste linear positivo para aplicação na semeadura e ajuste quadrático para aplicação antecipada e dose ótima de 148,33 kg ha⁻¹. Já na interação entre fonte e época (Figura 52b), consta que para o KCl aplicado na semeadura e Potasil quando comparado as fontes para aplicação na semeadura.

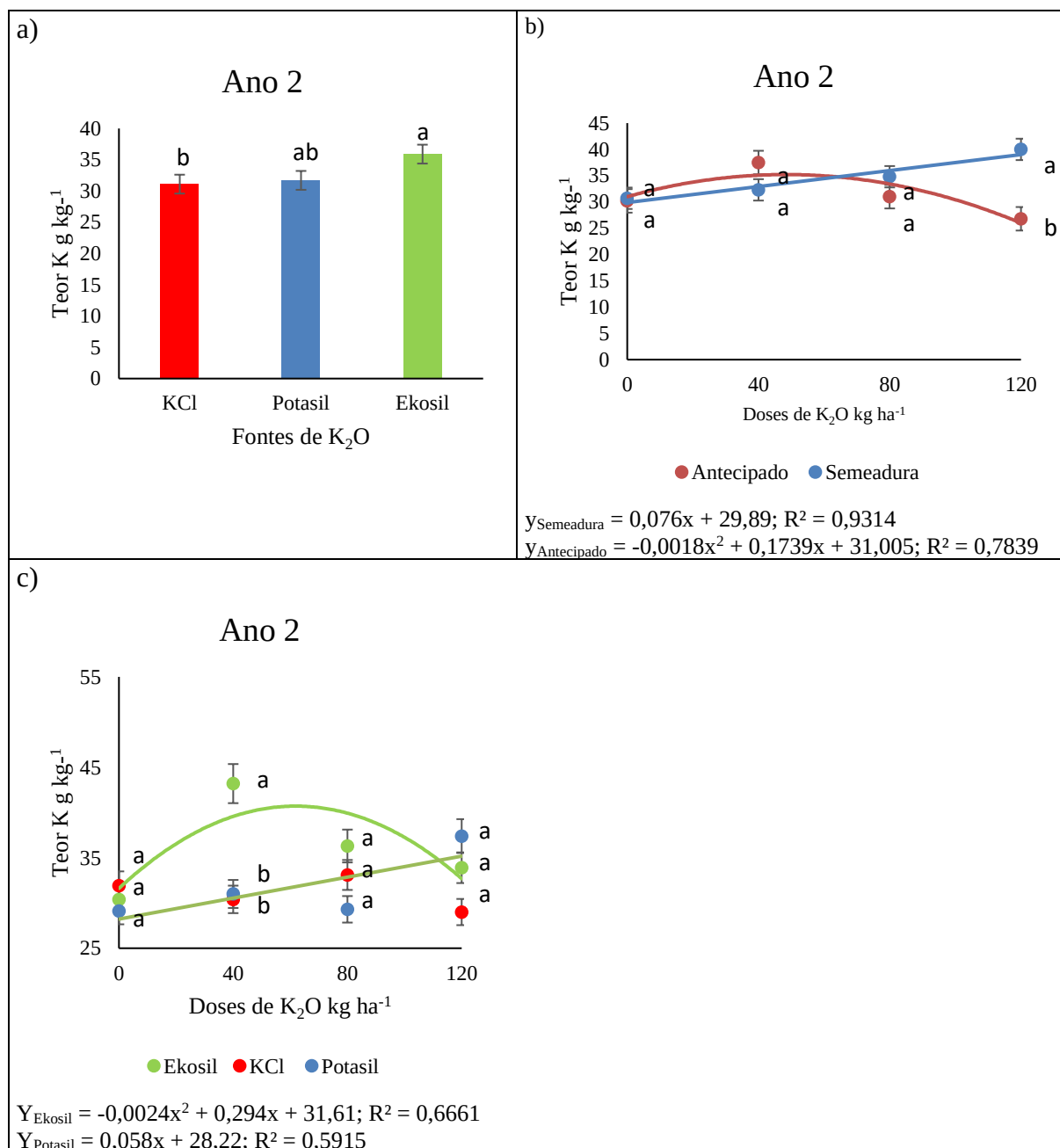
Figura 52. a) Interação dose e época para P, letras distintas para época a 5% pelo teste F. b) Interação época e fonte para P, letras minúsculas distintas para fontes e maiúsculas para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para K, consta na Figura 53a o efeito isolado de fonte, evidenciando o Ekosil como fonte de K₂O para acúmulo de K na palhada do milho; na interação entre dose e época (Figura 53b), houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste linear positivo para aplicação na semeadura e ajuste quadrático para aplicação antecipada e dose ótima de 48,31 kg ha⁻¹. Na interação entre fonte e dose (Figura 53c), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para Ekosil, tendo o Ekosil ajuste quadrático com dose ótima de 61,25 kg ha⁻¹ e Potasil ajuste linear positivo.

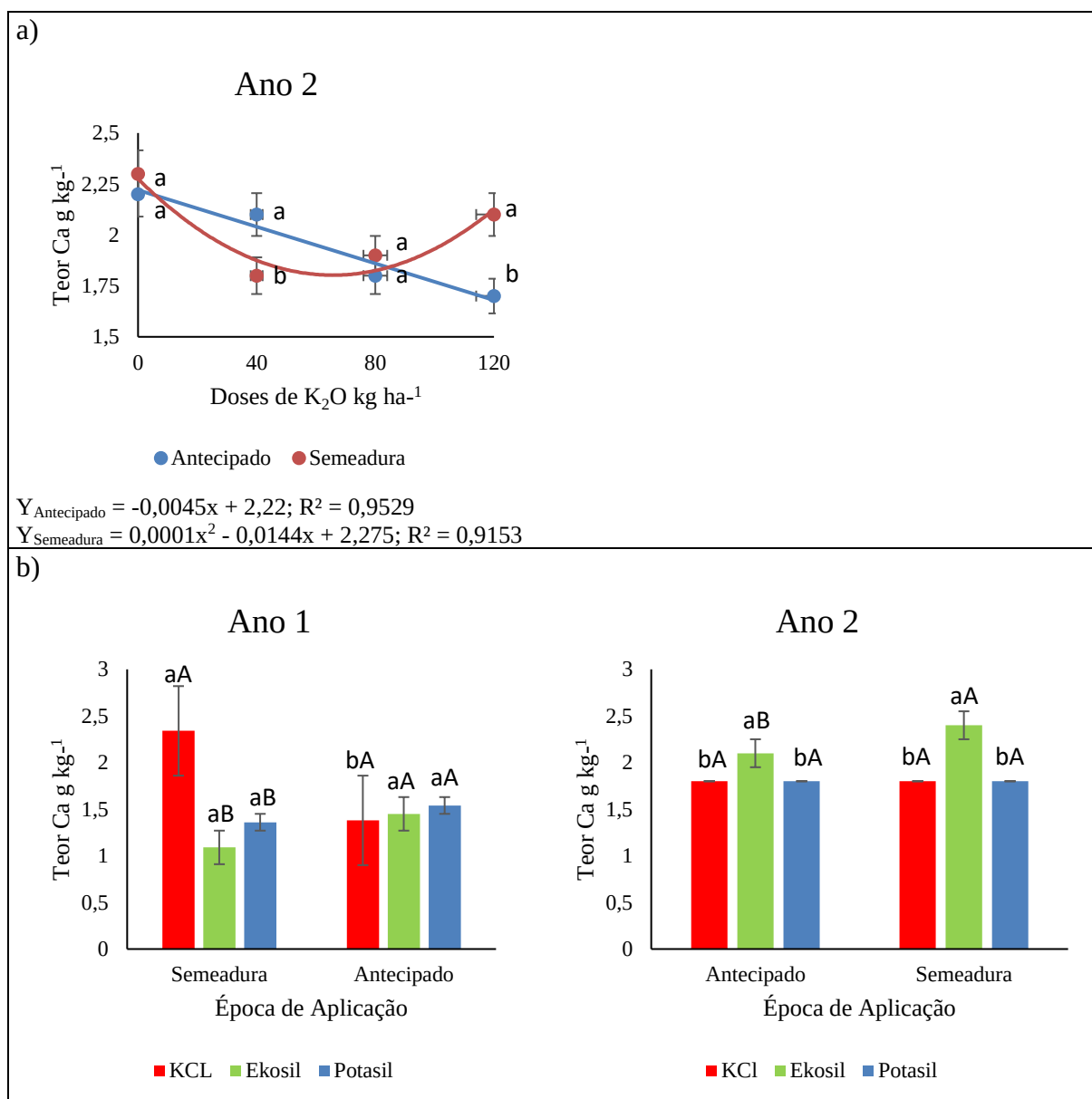
Figura 53. a) Efeito isolado de fonte para K, letras distintas se diferem a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para K, letras distintas para época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação de dose e fonte para K letras distintas para fontes a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Ca, na interação entre dose e época (Figura 54a), houve efeito significativo, para doses de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear negativo, e para doses de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste quadrático. Já na interação entre fonte e época (Figura 54b), consta que para o Ekosil houve destaque para aplicação na semeadura, já entre fontes, houve destaque para Ekosil na aplicação em semeadura e antecipada.

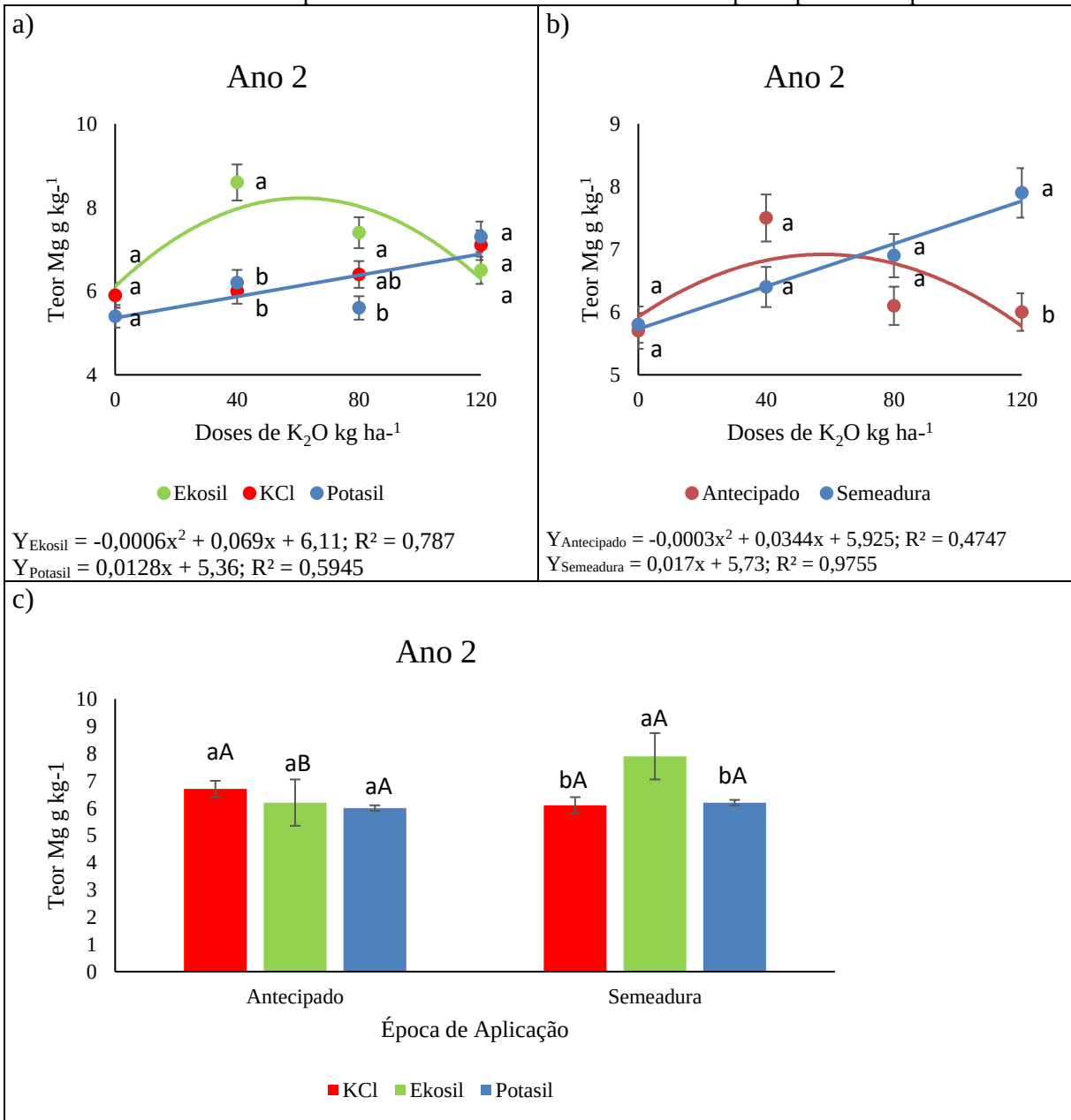
Figura 54. a) Interação época e dose para Ca, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. b) Interação fonte e época para Ca, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Mg, a interação entre fonte e dose (Figura 55a), houve efeito significativo, para Ekosil na dose 40 e 80 kg ha⁻¹ e KCl na dose 80 kg ha⁻¹, com ajuste quadrático para Ekosil e dose ótima de 57,5 e linear positivo para Potasil; na interação entre dose e época (Figura 55b), houve efeito significativo, para dose de 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação na semeadura, com ajuste linear positivo para aplicação na semeadura e ajuste quadrático com dose ótima de 57,33 kg ha⁻¹. Já na interação entre fonte e época (Figura 55c), consta que para o Ekosil dentro de época houve destaque para aplicação na semeadura e dentro das fontes, o Ekosil se destacou diante das outras fontes para semeadura.

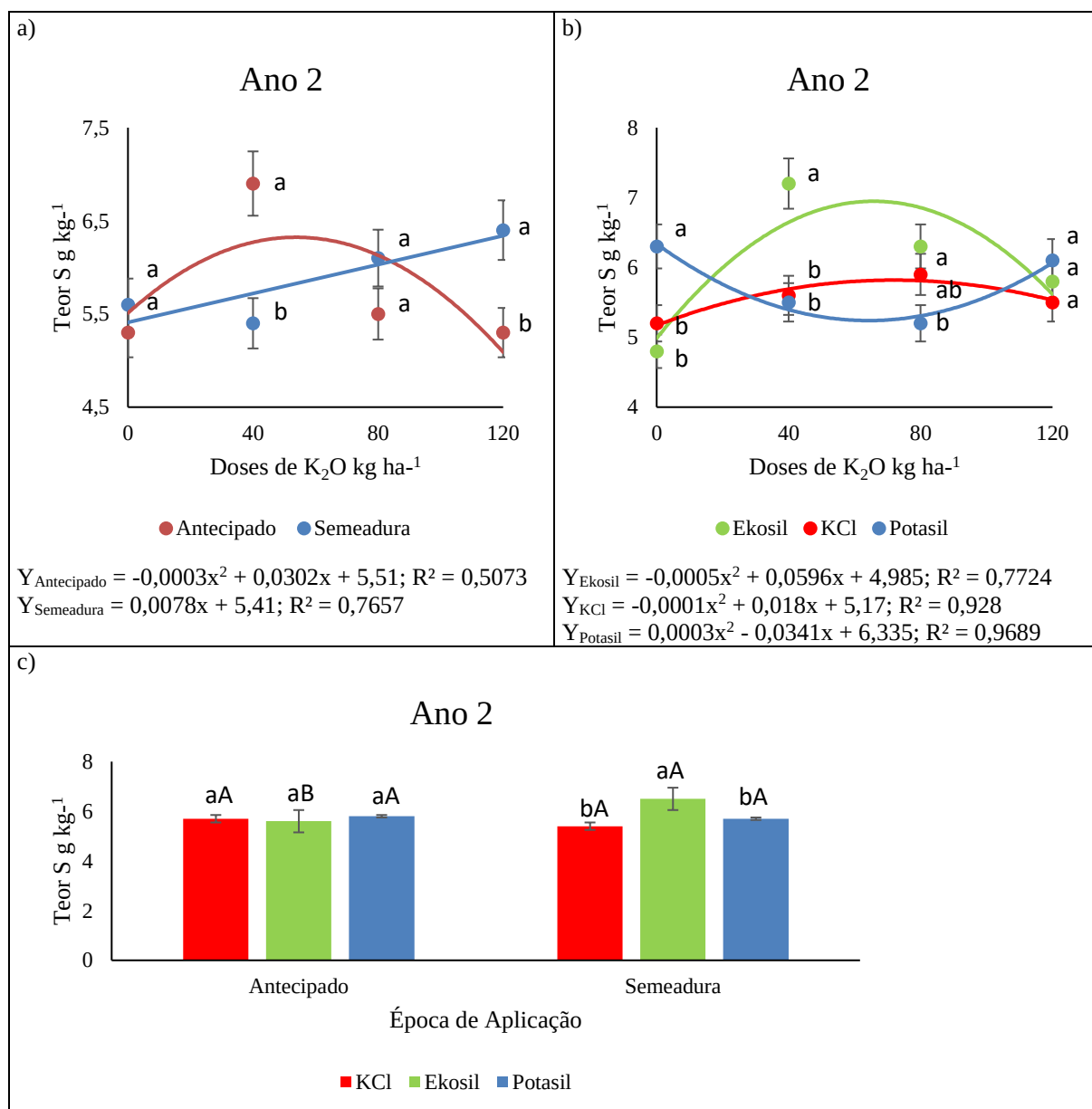
Figura 55. a) Efeito da interação de dose e fonte para Mg, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para Mg, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação entre época e fonte para Mg, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para S, na interação entre dose e época (Figura 56a), houve efeito significativo, para dose de 40 e 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada e semeadura, respectivamente, com ajuste linear positivo para aplicação na semeadura e ajuste quadrático para aplicação antecipada com dose ótima de 50,33 kg ha⁻¹. Na interação entre fonte e dose (Figura 56b), houve efeito significativo, para Potasil na dose 0, para Ekosil na dose 40 e para Ekosil e KCl na dose de 80 kg ha⁻¹, com ajuste quadrático para as três fontes e dose ótima de 59,6 kg ha⁻¹ para Ekosil e 90 kg ha⁻¹ para KCl. Já na interação entre fonte e época (Figura 56c), consta que para o Ekosil houve destaque para aplicação na semeadura e destaque na interação entre as fontes para Ekosil na semeadura.

Figura 56. a) Efeito da interação de dose e época para S, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e fonte para S, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação época e fonte para S, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.7.4 Micronutrientes e elementos benéficos no Milho

Segundo a Tabela 19, houve efeito significativo para fonte, com destaque para KCl e para doses para Cu, com ajuste linear decrescente; para épocas não houve efeito significativo. Segundo a Tabela 19, houve efeito significativo para doses para Fe; para fonte houve significância, com destaque para KCl para épocas não houve efeito significativo. Segundo a

Tabela 19, houve ajuste de doses para Mn, com ajuste na função linear positiva; para épocas não houve efeito significativo; para fonte não houve significância. Segundo a Tabela 19, houve ajuste de doses para Zn, com ajuste na função quadrática e dose máxima de 69,65 kg ha⁻¹; para fonte houve significância com destaque para KCl e Ekosil; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação na semeadura. Segundo a Tabela 19, houve ajuste de doses para Si, com ajuste na função linear negativa; para fonte houve significância, com destaque para KCl e Ekosil; para épocas houve efeito significativo, com destaque para aplicação na semeadura. Segundo a Tabela 19, houve ajuste de dose para sódio, sem ajuste para equação; para fonte houve efeito significativo e época não houve efeito significativo.

Tabela 19. Médias para os micronutrientes, silício e sódio nos grãos de milho sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

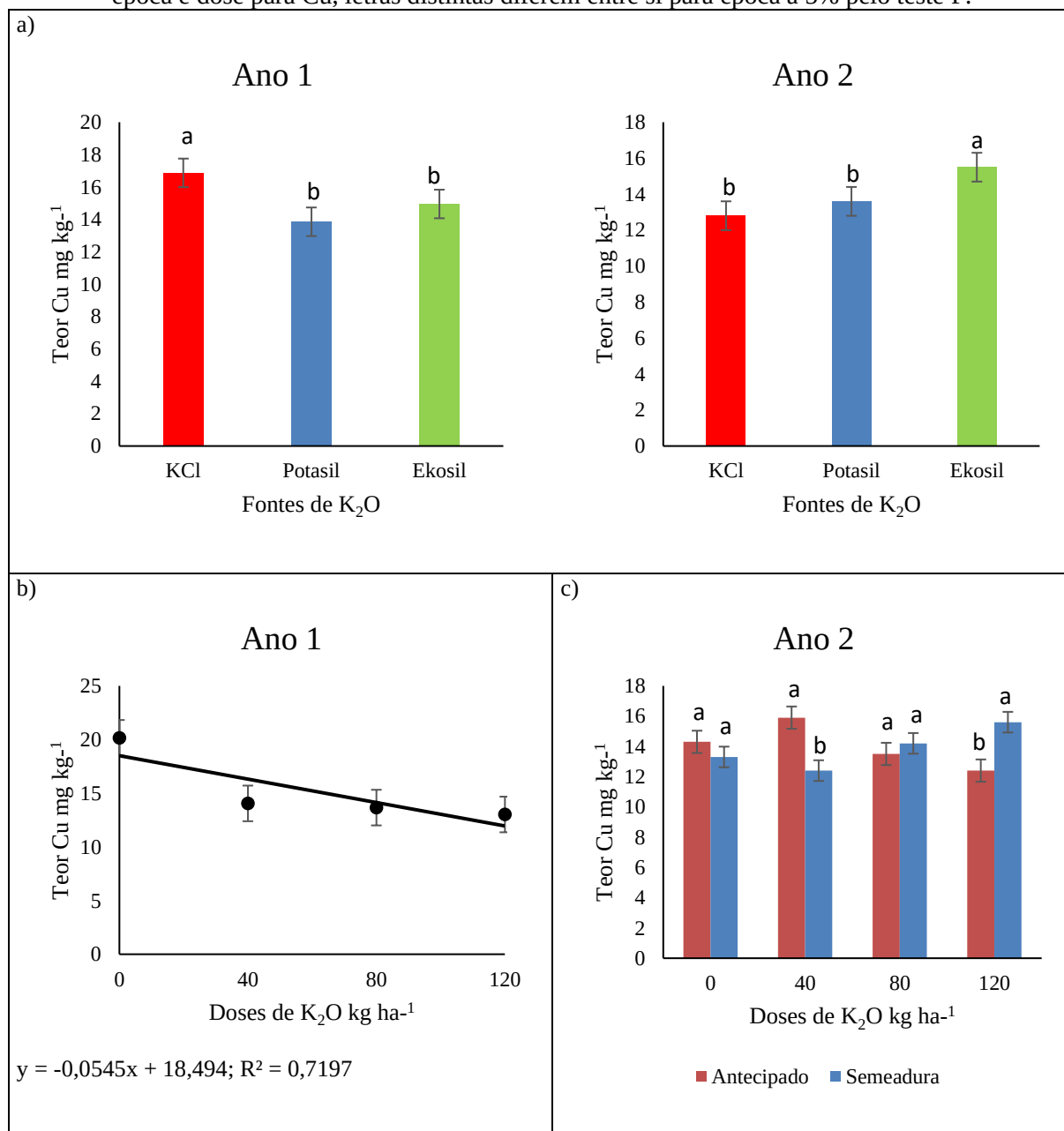
Doses de K ₂ O	Ano 1 Soja						Ano 2 Soja					
	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Na
	----- mg	kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹		----- mg	kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹ -----	
0	20,16	239	79,5	51,0	-	0,54	13,8	143,8	27,8	126,6	4,6	5,0
40	14,05	205	73,8	28,3	-	0,54	14,2	170,4	33,3	160,3	4,5	5,7
80	13,66	207	73,7	25,0	-	0,54	13,8	183,4	33,0	142,3	3,7	5,2
120	13,02	184	77,0	24,4	-	0,60	14,0	176,1	36,8	145,5	4,1	5,2
Fontes												
KCl	16,87	230	79,1 a	39,6	-	0,61 a	12,8 b	174,3	32,9	145,8 a	4,6 a	5,2
Potasil	13,85	190	75,4 a	24,3	-	0,54 ab	13,6 ab	158,2	31,3	125,1 b	3,8 b	5,1
Ekosil	14,95	206	73,5 a	32,6	-	0,53 b	15,5 a	172,5	33,9	160,0 a	4,2 ab	5,5
Épocas apl.												
Antecipado	15,09	210,2	73,8	32,5	-	0,56 a	13,9	160,9	32,9	136,0 b	3,9 b	5,3
Semeadura	15,36	207,7	78,2	31,9	-	0,55 a	14,0	175,8	32,5	151,3 a	4,4 a	5,2
Média							13,97	168,34	32,73	143,68	4,19	5,28
CV (%)	19,6	13,38	12,69	26,96	-	17,2	21,85	26,66	2403	19,10	19,82	12,06

As letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste F.

Fonte: Produção da própria autora.

Para cobre, consta na Figura 57a o efeito isolado para fonte, destacando KCl no Ano 1 e Ekosil no Ano 2; na Figura 57b consta o efeito isolado de doses, evidenciando que quanto maior a dose, menor o incremento do nutriente na palhada do milho. Na interação entre dose e época (Tabela 57c), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada e para 120 kg ha⁻¹ para semeadura, ambos sem ajuste de dose.

Figura 57. a) Efeito isolado das fontes para Cu, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das dose para Cu, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação entre época e dose para Cu, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.

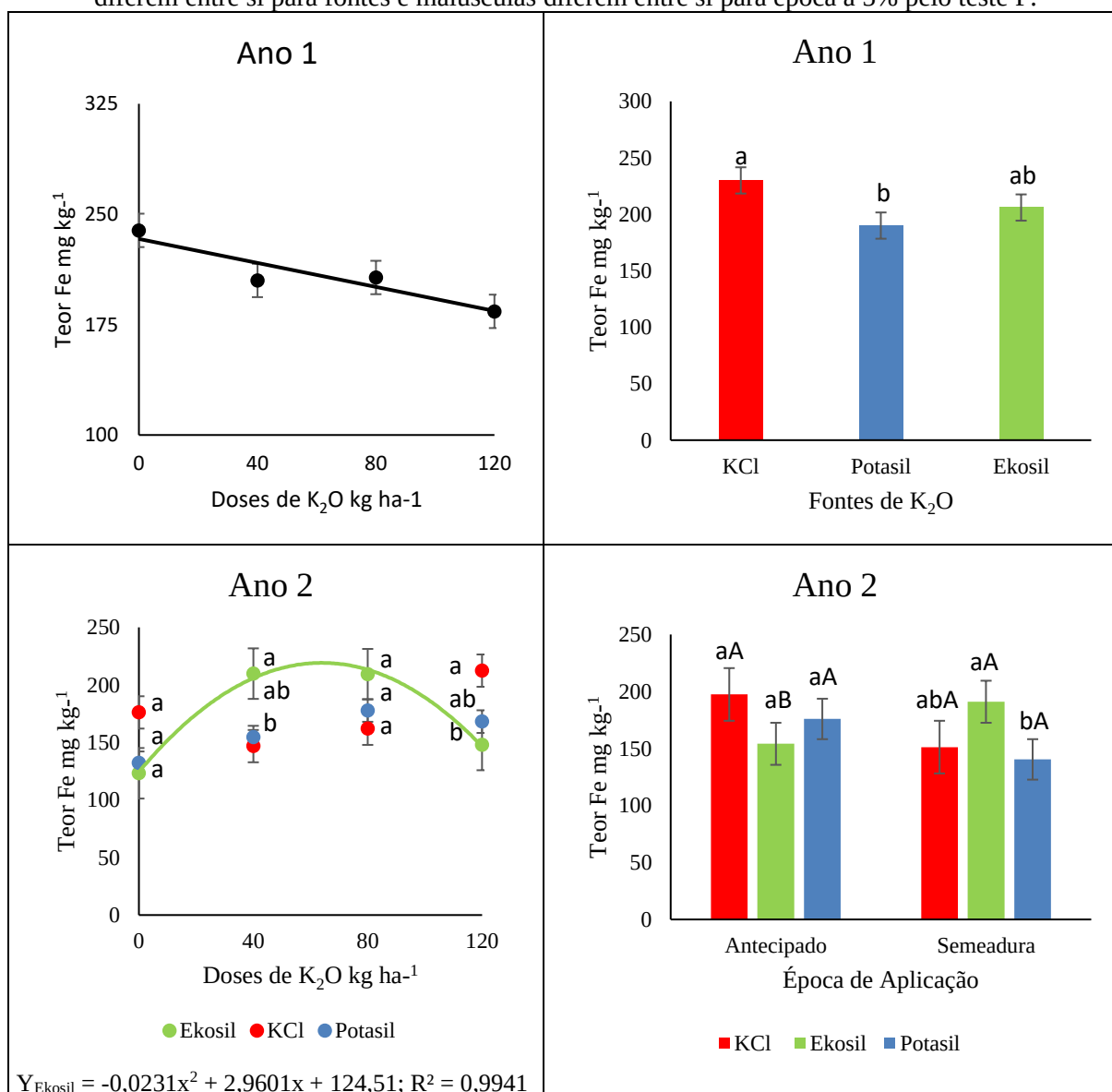


Fonte: Produção da própria autora.

Para Fe, consta na Figura 58a o efeito isolado de doses, evidenciando que quanto maior a dose, menor o incremento do nutriente na palhada do milho; na Figura 58b isolado para fonte,

destacando KCl no Ano 1. Na interação entre fonte e dose (Figura 58c), houve efeito significativo, para dose de 40, para Ekosil e Potasil, e para dose de 120 kg ha⁻¹ KCl e Potasil, com ajuste quadrático e dose ótima de 64,07 kg ha⁻¹. Já na interação entre fonte e época (Figura 58d), para fonte dentro de dose, consta que para o Ekosil obteve melhores valores na aplicação na semeadura e KCl para aplicação antecipada, foram significativos para aplicação na semeadura Ekosil e KCl.

Figura 58. a) Efeito isolado das doses para Fe. b) Efeito isolado das fontes para Fe, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F.. c) Interação entre fonte e dose para Fe letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F.. d) Interação entre fonte e época para Fe, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.

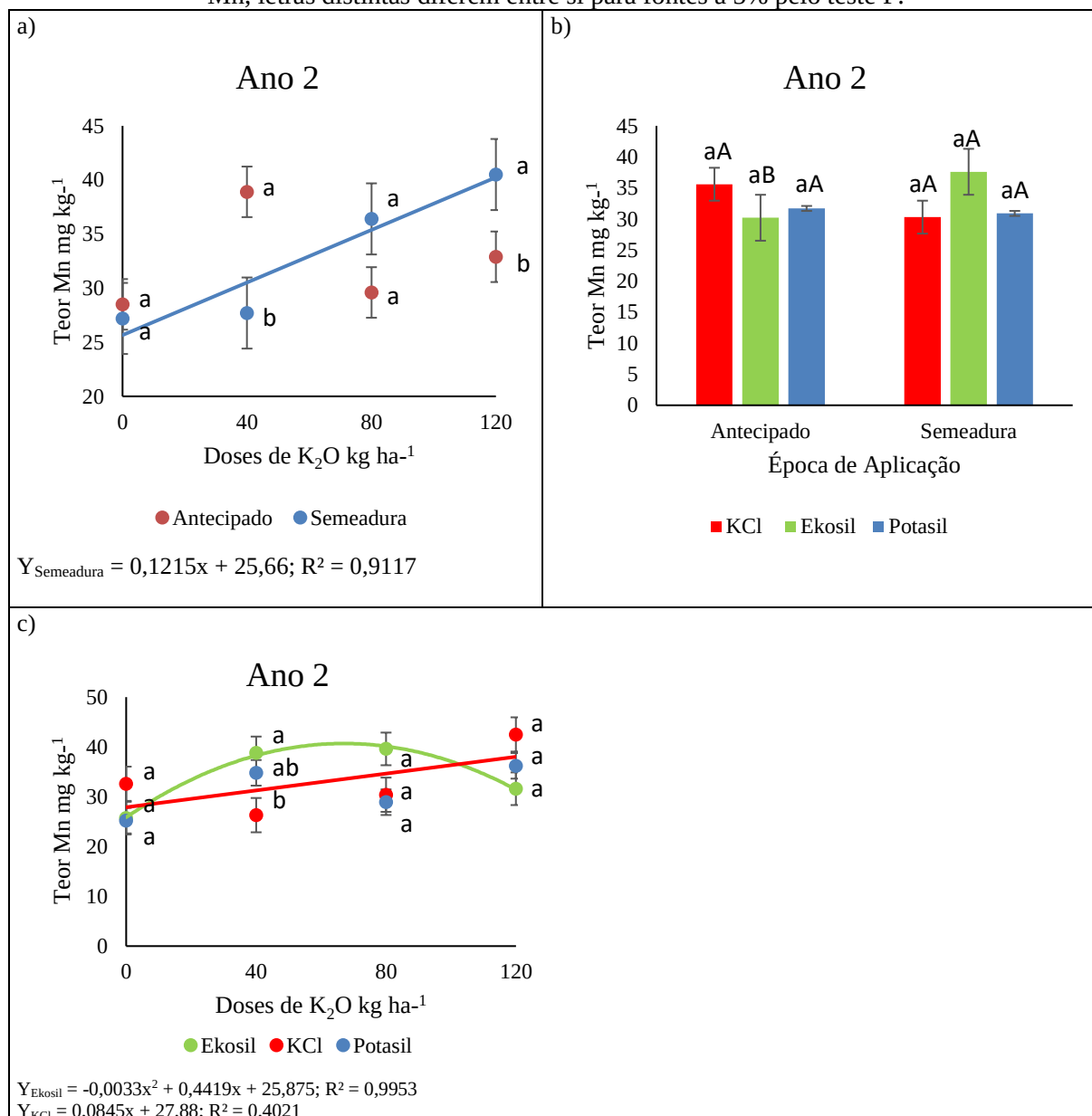


Fonte: Produção da própria autora.

Para Mn, na interação entre dose e época (Figura 59a), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada e para dose 120 kg ha⁻¹ para

semeadura, com ajuste linear positivo. Já na interação entre fonte e época (Figura 59b), consta que apenas o Ekosil teve efeito significativo quando aplicado na semeadura. Na interação entre fonte e dose (Figura 59c), houve efeito significativo, para dose de 40 kg ha⁻¹ para Ekosil e Potasil, tendo ajuste quadrático para ambos e dose ótima de 66,95 kg ha⁻¹ para Ekosil.

Figura 59. a) Interação das doses e época para Mn, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. b) Interação das fontes e época para Mn, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Interação das doses e fonte para Mn, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F.

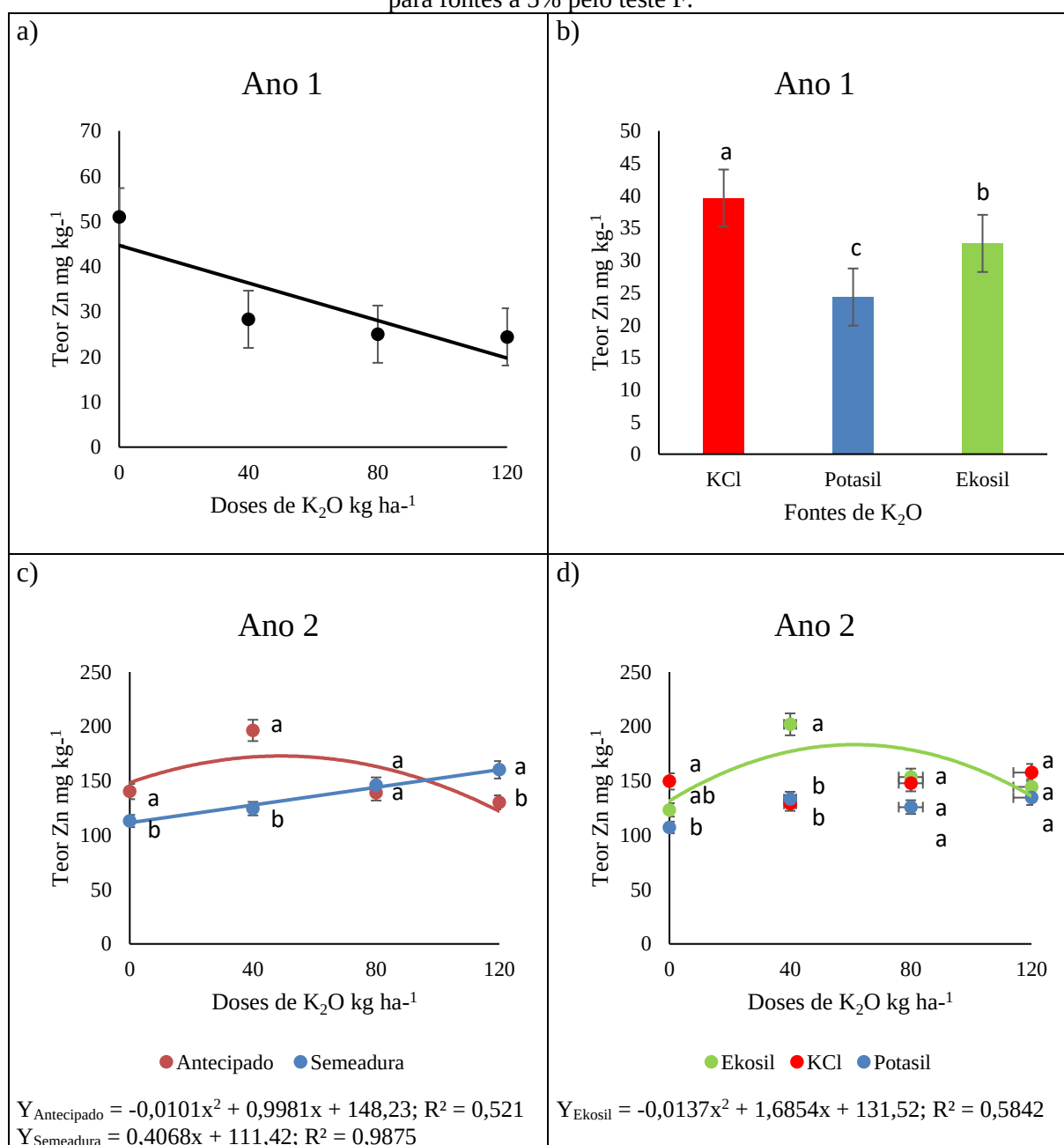


Fonte: Produção da própria autora.

Para Zn, consta na Figura 60a o efeito isolado de doses, evidenciando que quanto maior a dose, menor o incremento do nutriente na palhada do milho; na Figura 60b isolado para fonte, destacando KCl no Ano 1. Para Zn, na interação entre dose e época (Figura 60c), houve efeito

significativo, para dose de 0 e 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, dose de 120, com destaque para adubação na semeadura, para as doses houve ajuste quadrático com dose ótima de 49,41 kg ha⁻¹ para aplicação antecipada e ajuste linear positivo para semeadura. Na interação entre fonte e dose (Figura 60d), houve efeito significativo, para dose 0 e 40 kg ha⁻¹ para Ekosil e 0 para KCl, com ajuste quadrático para Ekosil e dose ótima de 61,51 kg ha⁻¹.

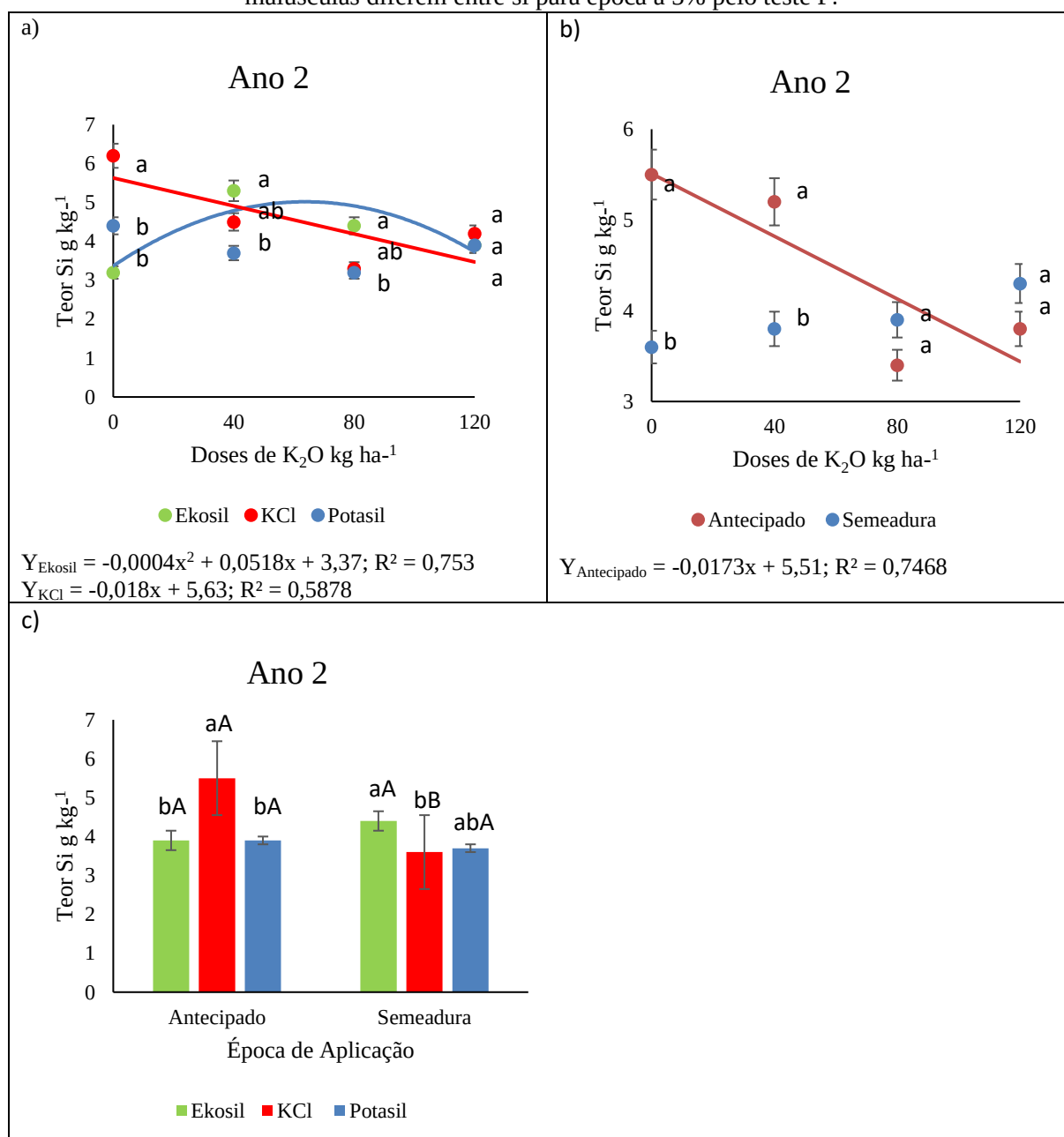
Figura 60. a) Efeito isolado das dose para Zn. b) Efeito isolado das fonte para Zn, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Interação das dose e época para Zn, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. d) Interação das fonte e dose para Mn, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Para Si, a interação entre fonte e dose (Figura 61a), houve efeito significativo, para dose 0 com destaque para KCl e dose de 40 e 80 kg ha⁻¹ com destaque para Ekosil e KCl, ambos com ajuste quadrático e dose ótima de 64,75 kg ha⁻¹ para Ekosil; na interação entre dose e época (Figura 61b), houve efeito significativo, para dose de 0 e 40 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear negativo para aplicação antecipada. Já na interação entre fonte e época (Figura 61c), consta que para o KCl houve destaque para aplicação de forma antecipada, entre as fontes houve efeito significativo para KCl aplicados de forma antecipada e Ekosil na semeadura.

Figura 61. a) Interação da fonte e dose para Si, letras distintas diferem entre si para fontes a 5% pelo teste F. b) Interação da época e dose para Si, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Interação da época e fonte para Si, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F.



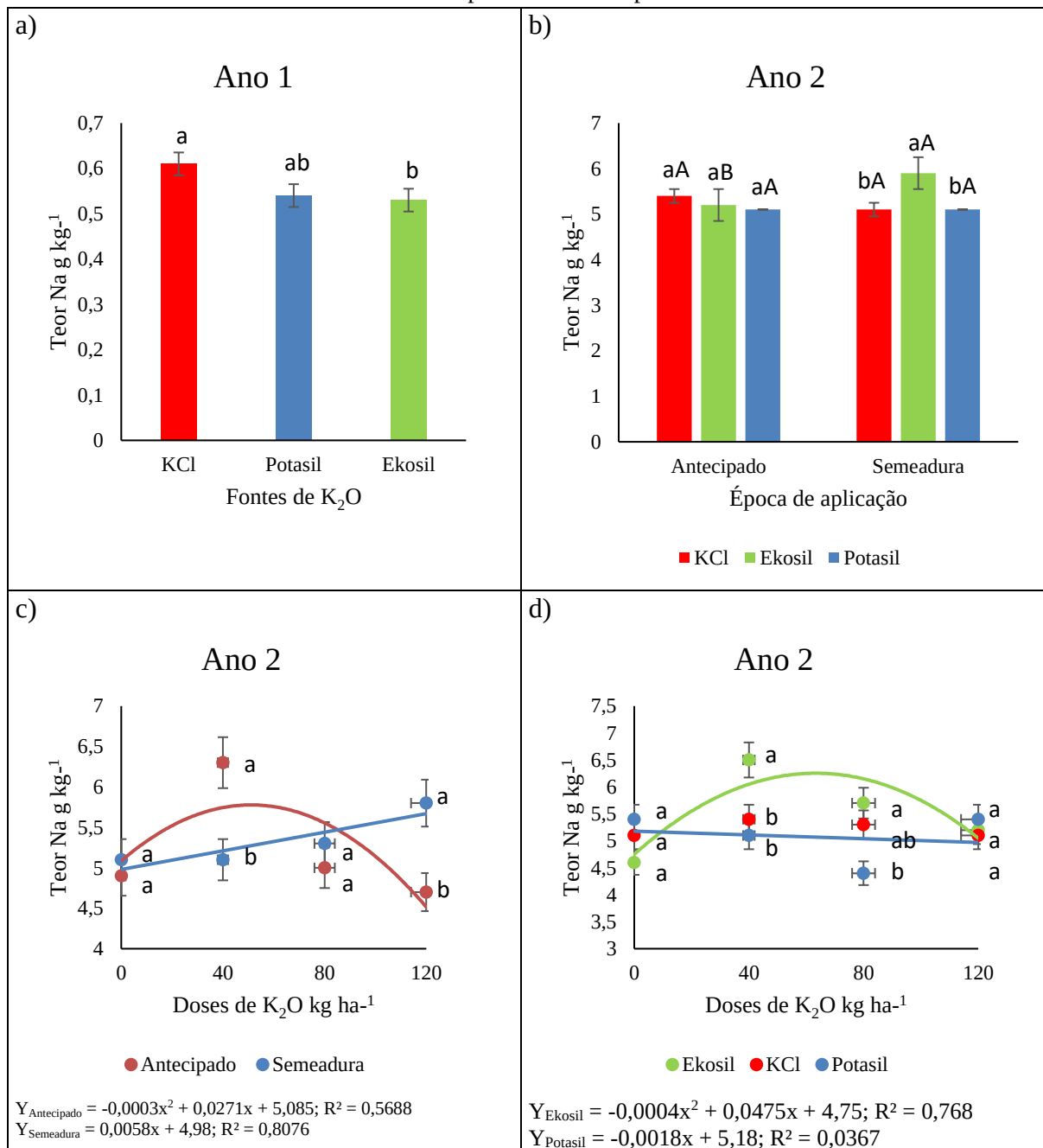
Fonte: Produção da própria autora.

Para sódio, na Figura 62a isolado para fonte, destacando KCl no Ano 1. Já na interação entre fonte e época (Figura 62b), consta que para o Ekosil houve destaque para aplicação na semeadura, já entre as fontes, houve destaque para Ekosil na semeadura; na interação entre dose e época (Figura 62c), houve efeito significativo, para dose de 40 e 120 kg ha⁻¹ com destaque para aplicação antecipada, com ajuste linear positivo para semeadura e quadrático com dose ótima de 45,17 kg ha⁻¹ para antecipada. Na interação entre fonte e dose (Figura 62d), houve

efeito significativo, para dose de 40 e 80 kg ha⁻¹, com destaque para KCl e Ekosil, tendo o Ekosil ajuste quadrático com dose ótima de 45,17 kg ha⁻¹ e Potasil ajuste quadrático.

Para sódio houve interação entre os fatores época e dose, não ocorreu ajuste a função tanto para adubação antecipada quanto para adubação em semeadura. Observou-se que nas doses 0 e 40 kg ha⁻¹ à adubação em semeadura foi melhor estatisticamente que a adubação antecipada. No desdobramento da interação entre época dentro de fontes de K₂O para o acúmulo de sódio no grão, apenas o KCl teve diferença significativa entre os modos de aplicação, aonde na ocasião de semeadura foi superior a adubação antecipada. Para o desdobramento da interação de doses dentro de fontes, ocorreu apenas ajuste a função quadrática para a fontes KCl. Na dose 0 o fertilizante KCl foi superior estatisticamente comparado as outras fontes testadas. Para a variável sódio, o residual de KCl em ocasião de semeadura diferiu estatisticamente das demais fontes. O acúmulo de sódio nos grãos tanto para o Potasil e Ekosil novamente foram menores que a fonte KCl, isso corrobora com a hipótese que essas fontes fornecem uma menor quantidade deste nutriente para a cultura do milho.

Figura 62. a) Efeito isolado das fonte para sódio (Na), letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. B) Interação da F e E para Na, letras minúsculas distintas diferem entre si para fontes e maiúsculas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Interação da época e dose para Na, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. d) Interação fonte e dose para Na, letras distintas diferem entre si para fonte a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

4.8 Atributos Químicos do Solo

Segundo a Tabela 20, foi significativo para F Potasil e Ekosil (Figura 63a) e épocas para B no Ano 2 de soja, com destaque para aplicação antecipada (Figura 63b). Segundo a Tabela 20, foi significativo para época para Si no Ano 2 de soja, com destaque para semeadura (Figura 63c).

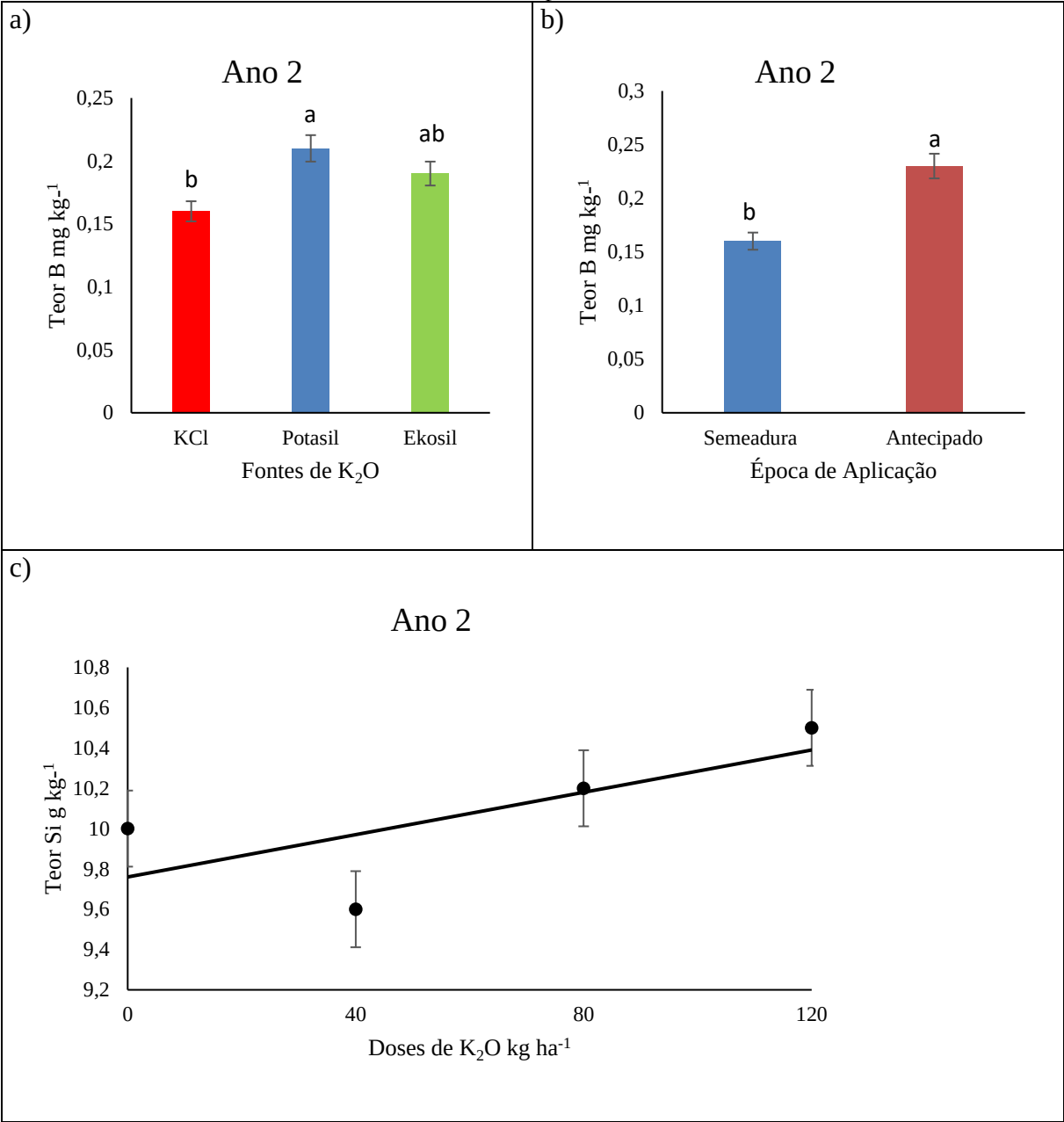
Tabela 20. Médias para potássio, silício e boro no solo após cultivos de soja, milho e soja sob fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K_2O	Exp I - Soja		Exp I - Milho		Ano 2 - Soja	
	K	Si	B	Si	B	Si
0	2,4	37,3	0,13	14,8	0,20	10,0
40	2,4	28	0,16	14,4	0,18	9,6
80	2,2	30,6	0,15	14,0	0,20	10,2
120	2,3	33,3	0,15	13,9	0,19	10,5
Fontes						
KCl	2,4	32,3	0,15	14,3	0,16 b	9,9
Potasil	2,2	29,3	0,14	14,2	0,21 a	9,8
Ekosil	2,3	31,6	0,16	14,1	0,19 ab	10,5
Épocas apl.						
Semeadura	2,2	30,9	0,15	14,14	0,16 b	11,0 a
Antecipado	2,4	31,3	0,15	14,24	0,23 a	9,0 b
Média	2,29	31,05	0,15	14,17	0,19	10,08
CV (%)	19,96	42,08	58,40	14,02	24,91	27,72

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 63. a) Efeito isolado das fontes para B, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito isolado das épocas para B, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. c) Efeito isolado das doses para Si.



Fonte: Produção da própria autora.

Os resultados para o Si demonstraram diferenças significativas entre épocas de aplicação no experimento com soja, com a aplicação na semeadura apresentando maiores valores. Este efeito está alinhado com os achados de Lamlom *et al.* (2024), que destacam que a disponibilidade de Si no solo é influenciada pelo momento de aplicação, especialmente em solos arenosos ou ácidos, onde sua mobilidade pode ser maior. Para o B, foi observado efeito significativo tanto para épocas quanto para fontes no experimento com soja. A aplicação antecipada foi mais eficiente, enquanto as fontes Potasil e Ekosil apresentaram melhores

resultados. Esses resultados corroboram estudos como o de Macedo *et al.* (2017), que enfatizam a importância do boro na formação e qualidade dos grãos, bem como a influência das fontes em sua disponibilidade no solo.

A aplicação antecipada de fertilizantes resultou em maiores valores de P disponível (Tabela 144; Figura 64a), indicando que o momento da aplicação pode aumentar a eficiência do uso do fósforo. A aplicação antecipada de P pode reduzir as perdas por fixação em solos ácidos, aumentando sua disponibilidade para as plantas (Bader *et al.*, 2021; Bhat *et al.*, 2024; Mallarino, 2024). Já para o H+Al, a interação entre doses e épocas de aplicação foi significativa, com valores mais altos observados para a dose zero aplicada de forma antecipada (Tabela 20; Figura 64b). Isso sugere que a ausência de fertilização pode acentuar a acidez potencial, enquanto a aplicação em doses crescentes reduz esse efeito. Esses resultados são consistentes e apontam a relação entre a aplicação de fertilizantes e a neutralização de cargas ácidas no solo (Bernardi *et al.*, 2009; Negasa *et al.*, 2023; Agegnehu *et al.*, 2021). A CTC foi significativamente influenciada pela interação entre doses e fontes de fertilizantes (Tabela 20; Figura 64c), com destaque para o Ekosil e Potasil nas menores doses. Este comportamento indica que essas fontes podem melhorar a capacidade de retenção de cátions no solo, possivelmente devido ao efeito tamponante e à liberação de nutrientes secundários associados. Estudos como o de Wyszowski e Brodowska (2021), reforçam a importância do manejo de fontes de fertilizantes na melhoria da CTC, especialmente em solos tropicais com baixa capacidade de retenção.

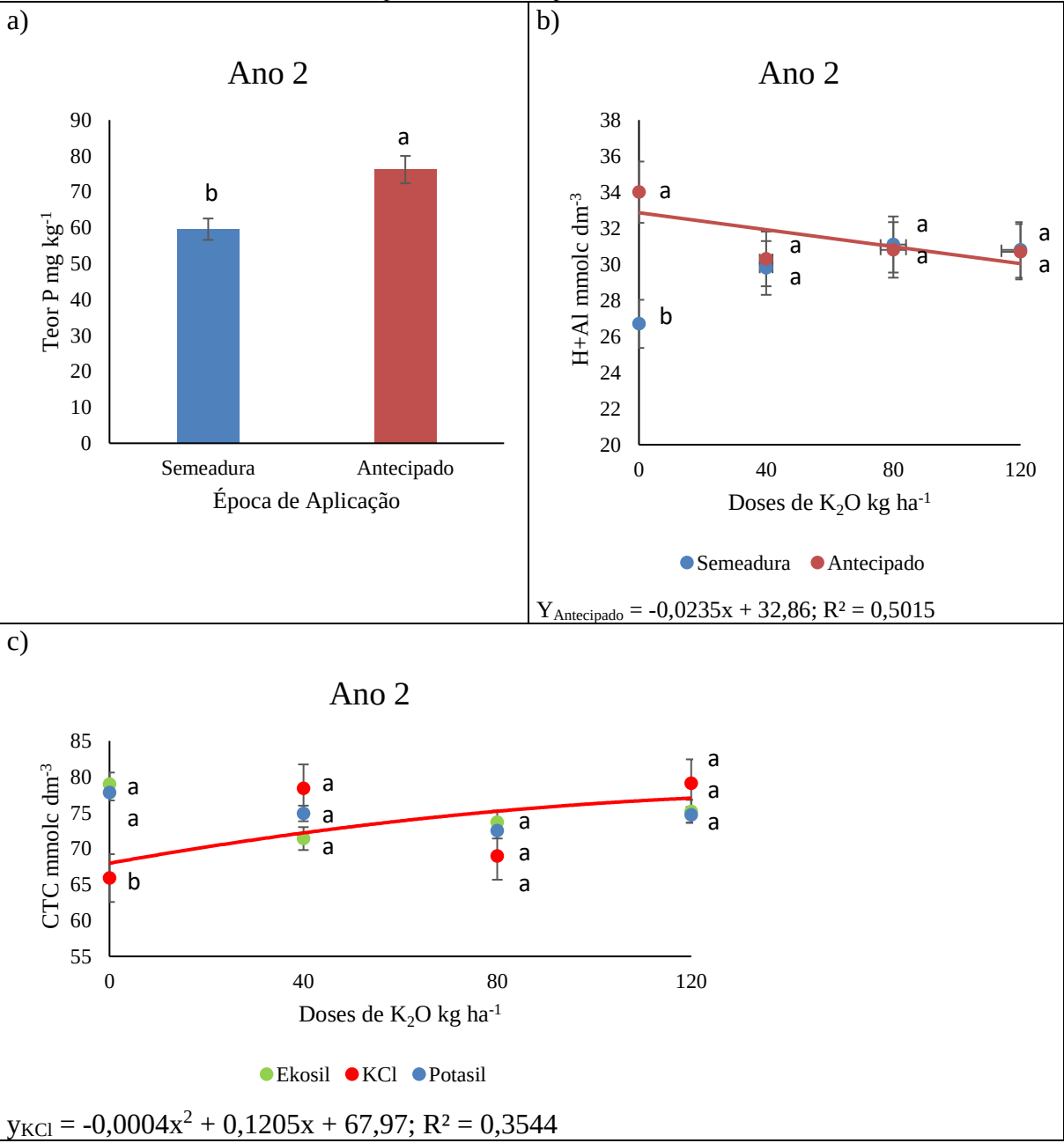
Tabela 21. Médias para os atributos químicos após cultivo de milho sob residual de fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Exp II - Milho									
	P - resina	Si	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
Doses de K ₂ O	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³					
0	66,2	4,7	2,6	25,5	15,2	30,3	0,00	43,9	74,2
40	64,7	4,3	2,5	26,6	15,8	30,0	0,56	44,9	74,9
80	65,8	4,2	2,6	23,8	14,4	30,9	0,67	40,8	71,7
120	73,5	4,5	2,6	26,7	16,2	30,7	1,0	45,6	76,3
Fontes									
KCl	67,9	4,7	2,6	25,8	15,5	30,0	0,38	43,1	73,1
Potasil	68,1	4,3	2,7	25,7	15,2	30,9	0,58	44,0	74,9
Ekosil	67,7	4,4	2,5	25,5	15,6	30,6	0,70	44,2	74,8
Épocas apl.									
Semeadura	59,6 b	4,5	2,7	25,9	14,8	29,6	0,61	43,0	72,6
Antecipado	76,2 a	4,4	2,5	25,4	16,0	31,4	0,50	44,5	75,9
Média	67,91	4,44	2,57	25,69	15,42	30,51	0,56	43,79	74,30
CV (%)	43,88	13,78	24,10	25,62	20,50	14,49	200,12	20,86	10,28

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

Figura 64. a) Efeito isolado das épocas da aplicação para fósforo, letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste F. b) Efeito da interação entre dose e época para H+Al, letras distintas diferem entre si para época a 5% pelo teste F. c) Efeito da interação dose e fonte para CTC, letras distintas diferem entre si para fonte a 5% pelo teste F.



Fonte: Produção da própria autora.

Embora não tenham sido observados efeitos significativos para matéria orgânica (MO) e pH (Tabela 22) do solo entre doses e fontes, a aplicação antecipada apresentou tendência de maiores valores de MO, indicando que essa prática pode favorecer a manutenção de resíduos orgânicos no solo. Esses resultados estão alinhados com Lamlom *et al.* (2024), que apontam a relação entre práticas de manejo e a conservação da matéria orgânica em sistemas agrícolas intensivos. Os resultados reforçam a importância do manejo integrado de doses, fontes e épocas

de aplicação de fertilizantes potássicos para a melhoria dos atributos químicos do solo. A aplicação antecipada demonstrou ser eficiente para aumentar o teor de P e B, enquanto as fontes Ekosil e Potasil apresentaram melhores resultados para CTC e B. Esses resultados destacam o potencial dessas práticas para promover a sustentabilidade do sistema agrícola, melhorando a eficiência do uso de nutrientes e as condições químicas do solo.

Constatou-se ajuste para época para P (Tabela 21), com destaque para aplicação antecipada. A acidez potencial foi significativa para interação entre dose e época, para dose 0 com destaque para semeadura e ajuste na equação linear negativo para aplicação antecipada. Para CTC houve efeito significativo para interação entre dose e fonte, com destaque Ekosil e Potasil na dose 0 e ajuste linear positivo na equação do KCl.

Tabela 22. (continuação) Médias para os atributos químicos após cultivo de milho sob residual de fontes, doses e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O			Exp II - Milho			
	MO g dm ⁻³	pH (CaCl ₂)	V %	Ca/CTC	Mg/CTC	m %
0	20,75	5,3	58,8	35,0	20,3	0,0
40	21,0	5,3	59,2	35,0	20,9	1,7
80	20,5	5,3	56,5	32,8	20,0	1,9
120	21,5	5,3	59,3	34,8	20,9	2,3
Fontes						
KCl	20,8	5,3	58,6	33,9	21,0	0,9
Potasil	21,5	5,3	58,2	34,6	19,9	1,7
Ekosil	20,6	5,3	58,5	34,7	20,6	1,9
Épocas apl.						
Semeadura	20,6	5,3	58,9	35,0	20,3	1,7
Antecipado	21,4	5,3	58,0	33,8	20,8	1,3
Média	20,98	5,31	58,46	34,41	20,54	1,48
CV (%)	13,50	5,01	12,85	15,09	13,18	210,26

As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Fonte: Produção da própria autora.

5 CONCLUSÃO

5.1 Soja

Independentemente da fonte de potássio e do momento da aplicação, o fornecimento de 78 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou maior produtividade de grãos de soja no primeiro ano em sistema de sequeiro sob plantio direto em Latossolo Vermelho de textura argilosa.

O fornecimento antecipado de Ekosil aumentou a massa de nódulos em comparação ao Potasil e KCl. Doses maiores de KCl diminuíram a massa de nódulos por planta de soja.

Ekosil e Potasil por serem menos suscetíveis à lixiviação, têm efeito prolongado na liberação de K. São opções viáveis para o fornecimento de potássio em relação ao uso de KCl. Houve efeitos benéficos do uso de fontes de K₂O associadas ao Si no cultivo de soja, cuja aplicação antecipada de Ekosil, na dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O, e do Potasil promoveram maiores eficiências agronômicas da adubação potássica para a soja. Portanto, estes possuem potencial para uso como fonte alternativa ao KCl no cultivo de soja, em solo com teor médio de potássio.

5.2 Milho

A produtividade de grãos de milho foi influenciada pelo residual da adubação potássica na soja, com dose ótima variando de 63,35 a 100,45 e kg ha⁻¹ de K₂O, no primeiro e segundo ano, independentemente do adubo potássico. A dose de 40 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou a maior eficiência agronômica.

As épocas de aplicação de potássio não interferem na produtividade de grãos de milho, tanto faz aplicar 30 dias antes ou na semeadura da soja. Dentre as fontes de potássio, o Ekosil proporcionou maior eficiência agronômica e produtividade de grãos de milho, não diferindo do Potasil para este último no primeiro ano.

O uso de fontes alternativas de potássio em épocas de aplicação e doses otimizadas, contribuiu para melhorar as condições químicas do solo e a nutrição de plantas, promovendo sustentabilidade no sistema de sucessão soja-milho.

REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G. *et al.* Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, Copenhagen, v. 71, n. 9, p. 852–869, 2021.
- ARTUZO, F. D. *et al.* Gestão de custos na produção de milho e soja. **Review of Business Management**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 273–294, 2018.
- ATTIPOE, J. Q. *et al.* Evaluating the effectiveness of calcium silicate in enhancing soybean growth and yield. **Plants**, Basel, v. 12, n. 11, p. 2190, 2023.
- BADER, B. R. *et al.* Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertiliser under water stress during maize (*Zea mays* L) growth. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riyadh, v. 20, n. 6, p. 390–394, 2021.
- BARLÓG, P. Improving fertilizer use efficiency: methodoses and strategies for the future. **Plants**, Basel, v. 12, n. 20, p. 3658, 2023.
- BERNARDI, A. C. C. *et al.* Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milheto e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 158–167, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3519/4782>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- BHAT, M. A. *et al.* Soil and mineral nutrients in plant health: a prospective study of iron and phosphorus in the growth and development of plants. **Current Issues in Molecular Biology**, Basel, v. 46, n. 6, p. 5194–5222, 2024.
- BORKERT, C. M. *et al.* Efeito residual da adubação potássica sobre girassol e milho, em três diferentes Latossolos Roxos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 12, p. 1227–1234, 1997. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45575/1/EFEITO-RESIDUAL-DA-ADUBACAO-POTASSICA.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 52–56, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fyLtbg765gD9CjSgSqbLNwR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- CANTARELLA, H. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022. (Boletim 100).
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- CAO, Y. *et al.* MYB transcription factors as regulators of secondary metabolism in plants. **Biology**, Basel, v. 9, n. 3, p. 61, 2020.

CARVALHO, D. D. O. *et al.* Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 380–387, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/79cL9qDHWXS65qHQBZvxc3f/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CARVALHO, J. *et al.* Efeitos da fertilização com nitrogênio e da irrigação com água salina na produção de biomassa em plantas forrageiras consorciadas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 5, p. 3827–3857, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/261020/47529>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CAVALHEIRO, D. *et al.* A tecnologia da informação no agronegócio: uma revisão bibliográfica. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18, 2018, Caxias do Sul. **Mostra...** Caxias do Sul, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331053438_A_Tecnologia_da_Informacao_no_Agronegocio_uma_Revisao_Bibliografica. Acesso em: 22 jan. 2025.

CAVALLI, E.; LANGE, A. Efeito residual do potássio no sistema de cultivo soja-milho safrinha no cerrado Mato-Grossense. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 27, n. 2, p. 310–326, 2018. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446-8355.2018v27n2p310-326/1899>. Acesso em: 24 mar. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Safra brasileira de grãos**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 27 nov. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Aumento de 20,6% na produção de soja impulsiona safra de grãos, estimada em 309,9 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4937-aumento-de-20-6-na-producao-de-soja-impulsiona-safra-de-graos-estimada-em-309-9-milhoes-de-t>. Acesso em: 23 jun. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Primeiro levantamento da safra 2023/24 traz uma estimativa de produção de 317,5 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5211-primeiro-levantamento-da-safra-2023-24-traz-uma-estimativa-de-producao-de-317-5-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 27 nov. 2023.

CUNHA, L. S. *et al.* Agronomic characteristics of soybean as a function of inoculation, co-inoculation and N doses on eutrophic red latosol: Caracteres agrônômicos da soja em função da inoculação, co-inoculação e doses de N em latossolo vermelho eutroferico. **Concilium**, Petrópolis, v. 23, n. 10, p. 473–488, 2023. Disponível em: <https://pdepocas.semanticscholar.org/4165/cac3692bfde416b8451d8244fa3df65cdb0b.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

DHALIWAL, S. S. *et al.* Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: a review. **Environmental and Sustainability Indicators**, Amsterdam, v. 1–2, p. 100007, 2019.

ECHER, F. R.; FOLONI, J. S. S.; CRESTE, J. E. Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro I – Produtividade, qualidade de fibras e análise econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, Supl. 1, p. 1135- 1144, 2009. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/4650/3956>. Acesso em: 12 jan. 2025.

FARIA, A. F. *et al.* Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4062574>. Acesso em: 14 mar. 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008. Disponível em: <https://des.ufla.br/~danielff/meusarquivospdf/art63.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2025.

FIORINI, I. V. A. *et al.* Avaliação de fontes de enxofre e das formas de micronutrientes revestindo o NPK na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 1, p. 20–29, 2016. Disponível em: https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/546/pdf_441. Acesso em: 02 abr. 2025.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1549–1561, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nLT37hR4qLbLqTV6Dz5jZDm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2025.

FREI, J.; WIESENBERG, G. L. B.; HIRTE, J. The impact of climate and potassium nutrition on crop yields: Insights from a 30-year Swiss long-term fertilization experiment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 372, p. 109100, 2024.

GALINDO, F. S. *et al.* Silicon amendment enhances agronomic efficiency of nitrogen fertilization in maize and wheat crops under tropical conditions. **Plants**, Basel, v. 29, n. 10, p. 1329, 2021.

GALVÃO, J. C. C. *et al.* Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 1, n. 61, p. 819-828, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/N8fCSz8xJw7gy98s8nkTqmJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2025.

GŁOWACKA, A. *et al.* The effect of nitrogen and sulphur application on soybean productivity traits in temperate climates conditions. **Agronomy**, Basel, v. 13, n. 3, p. 780, 2023.

GODOY, L. M. Extração e exportação de nutrientes na cultura da soja. **Boletim Agrônomo OCP Brasil**, São Paulo, n. 4, 2021. 4 p. Disponível em: https://www.ocpbrasil.com.br/sites/default/files/2023-02/OCP_Brasil_Boletim_Agronomico_4_0.pdf. Acesso em: 21 jan. 2025.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. *et al.* Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660–666, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/gqt8JCBb3SWWFFKdLyRtncG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 25 jan. 2025.

GONZÁLEZ, L. C. *et al.* Daños por *spodoptera frugiperda* Smith en maíz en función de nitrógeno, potasio y silicio. **Revista de Protección Vegetal**, La Habana, v. 30, n. 3, p. 176–184, 2015. Disponível em: <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v30n3/rpv03315.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

GUARESCHI, R. F. *et al.* Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, p.643–648, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/S6twbhrKTLZKf8yXvqdgwmr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 mar. 2025.

GUEDES, E. *et al.* Fontes de potássio para produção e qualidade de tomate cultivado em sistema orgânico em ambiente protegido. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 14, p.e484101422169, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356155494_Fontes_de_potassio_para_producao_e_qualidade_de_tomate_cultivado_em_sistema_organico_em_ambiente_protegido. Acesso em: 14 fev. 2025.

GUSMÃO, T. A. S. *et al.* Partial replacement of sodium chloride by potassium chloride in the formulation of French bread: effect on the physical, physicochemical and sensory parameters. **Food Science and Technology**, London, v. 37, n. suppl 1, p. 55–62, 2017.

HAN, Y. *et al.* Straw return increases crop grain yields and K-use efficiency under a maize-rice cropping system. **The Crop Journal**, Beijing, v. 9, n. 1, p. 168–180, 2021.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 3, p. 31, 2018.

HE, B. *et al.* Effect of different long-term on crop yield and potassium use efficiency in the maize–wheat rotation system. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 10, p. 2565, 2022.

HERNANDEZ, F. B. T. **Sistema de monitoramento climático - UNESP Ilha Solteira**. Blog. 2023. Disponível em: https://clima.feis.unesp.br/recebe_formulario.php. Acesso em: 11 dez. 2023.

HERRENDORF, B.; SCHOELLMAN, T. Why is measured productivity so low in agriculture? **Review of Economic Dynamics**, Minneapolis, v. 18, n. 4, p. 1003–1022, 2015.

JAMES, A. E.; SOJKA, R. E. Matrix based fertilizers reduce nitrogen and phosphorus leaching in three soils. **Journal of Environmental Management**, Cambridge, v. 87, n. 3, p. 364–372, 2008.

JÚLIO, O. L. L. *et al.* Formas de adubação potássica e produtividade da cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 32, p. 149–155, 2016. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/4004/3648>. Acesso em: 12 fev. 2025.

KORBER, A. H. C. *et al.* Adubação nitrogenada e potássica em soja sob sistemas de semeadura. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 4, p. 38–45, 2017. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1653/1726>. Acesso em: 25 jan. 2025.

KUMAR, D. *et al.* Influence of different rates and frequencies of Zn application to maize–wheat cropping on crop productivity and Zn use efficiency. **Sustainability**, New York, v. 14, n. 22, p. 15091, 2022.

KWON, E. H. *et al.* Exogenous SA applications alleviate salinity stress via physiological and biochemical changes in St John’s Wort Plants. **Plants**, Basel, v. 12, n. 2, p. 310, 2023.

LAMLOM, S. F. *et al.* Revitalizing maize growth and yield in water-limited environments through silicon and zinc foliar applications. **Heliyon**, London, v. 10, n. 15, p. e35118, 2024.

LI, S. *et al.* Phosphorus fertilizer management for high yield doses in intensive winter wheat–summer maize rotation system: Integrating phosphorus budget and soil available phosphorus. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 313, p. 109410, 2024.

LIMA, G. S. *et al.* NPK accumulation, physiology, and production of sour passion fruit under salt stress irrigated with brackish water in the phenological stages and K fertilization. **Plants**, Basel, v. 12, n. 7, p. 1573, 2023.

LIU, H. *et al.* Conservation tillage mitigates soil organic carbon losses while maintaining maize yield stability under future climate change scenarios in Northeast China: a simulation of the agricultural production systems simulator model. **Agronomy**, Basel, v. 15, n. 1, p. 1, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387370982_Conservation_Tillage_Mitigates_Soil_Organic_Carbon_Losses_While_Maintaining_Maize_Yield_Stability_Under_Future_Climate_Change_Scenarios_in_Northeast_China_A_Simulation_of_the_Agricultural_Production_S. Acesso em: 22 jan. 2025.

LIU, J. *et al.* Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization management on soil properties and leaf traits and yield of *Sapindus mukorossi*. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 15, p. 1300683, 2024.

LOVERA, L. H.; NUNES, A. L.; CORTEZ, L. (org.). Release USDA. FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA MATO GROSSO DO SUL – FAMASUL. **Milho**: safra 2023/2024. Campo Grande: FAMASUL, 2023. (Março, 23). Disponível em: https://portal.sistemapamasul.com.br/sites/default/files/boletimcasapdf/Release%20USDA%20Mar%C3%A7o%2023_0.pdf. Acesso em: 11 nov. 2024.

LUZ, P. H. C. *et al.* Avaliação do desempenho do fonólito via mineral e no enriquecimento da torta de filtro em soqueira de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO ROCHAGEM, 2, 2013, Viçosa. Viçosa: UFV, 2013.

MACEDO, L. O. *et al.* Use of sparingly soluble micronutrients sources for citrus production. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 38, n. 2, 2017. Disponível em: <http://www.citrusrt.periodikos.com.br/article/doi/10.4322/crt.ICC099>. Acesso em: 22 abr. 2023.

MALAQUIAS, C. A. A.; SANTOS, A. J. M. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pubvet**, Londrina, v. 11, n. 5, p. 501–512, 2017. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/1329>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MALAVOLTA, E. Absorção, transporte e redistribuição. In: MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006a. Cap. 3. p. 56-127.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. In: MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. p. 30–75.

MALAVOLTA, E. O solo como um meio para crescimento das plantas. In: MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006c. Cap. 1. p. 2–42.

MALAVOLTA, E. Os elementos minerais. In: MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006b. Cap. 2. p. 43-56.

MALLARINO, A. P. **Phosphorus and potassium fertilization for corn and soybean during 40 years in Northeast Iowa - final study report**. 2024. Disponível em: <https://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/NERF%20LTPK%20trial%20Final%20Report%202024.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

MELO, F. B. *et al.* **Fertilizações nitrogenada e potássica e produtividades técnica e econômica de milho cultivado no Cerrado da Região Leste Maranhense**. Terezina: Embrapa Meio Norte, 2021. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 130). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133654/1/FertilizacoesNitrogenadaPotassicaMilhoCultivado.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2025.

MELO, N. C. *et al.* Crescimento e fenologia da soja em função da adubação potássica. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Jandaia, v. 11, n. 21, p. 679–688, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/crescimento%20e%20fenologia.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MENDES, W. D. C. *et al.* Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 11, p. 972–977, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/y6rKHwYnQ38WfXNqTbMShsH/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MENDONÇA, V. Z. D. *et al.* Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 183–193, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/xBCg3G5dzwzNHSV8pVwdbBS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2024.

NATALE, W. *et al.* Mineral nutrition evolution in the formation of fruit tree rootstocks and seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 6, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/LtyP44fk84DVBy6PP8pd8r/?lang=en>. Acesso em: 22 jan. 2025.

NEGASA, G. *et al.* Impact of silicate fertilizer on soil properties and yield of bread wheat in Nitisols of tropical environment. **Heliyon**, London, v. 9, n. 12, p. e22933, 2023.

PATHAK, T. B. *et al.* Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 3, p. 25, 2018.

PAVINATO, P. S. *et al.* Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/5DBXBt9DKkjmhvwtM6yxQBJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2024.

PEREIRA, A. C.; GOMES, M. R. S. Biotita e flogopita como fonte alternativa de potássio para fertilizante: extração hidrometalúrgica. **UNESP Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 781-786, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13764/12194>. Acesso em: 12 abr. 2025.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Ed. Da UFRJ, 1998. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Metabolismo-do-Carbono-na-Agricultura-Tropical-by-Carlos-Pimentel--2008-.pdf. Acesso em: 12 mar. 2025.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; BOTELHO, D. M. D. S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 323–331, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/NPf3CRzsDgDngdVj7dQ3MyK/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 jan. 2025.

PRADO, R. D. M. Potássio. In: PRADO, R. D. M. **Nutrição de plantas**. 2. ed. São Paulo: Ed. Unesp, 2008. p. 161–180.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. GENPLANT, 2006. Disponível em: https://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloadoses/nutricaoodeplantas_apostila2006.pdf. Acesso em: 5 nov. 2023.

PRAXEDES, S. S. C. *et al.* Photosynthetic responses, growth, production, and tolerance of traditional varieties of cowpea under salt stress. **Plants**, Basel, v. 11, n. 14, p. 1863, 2022.

QU, Z. *et al.* Effects of drip irrigation coupled with controlled release potassium fertilizer on maize growth and soil properties. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 301, p. 108948, 2024.

RABÊLO, F. H. S. *et al.* Adubações com potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 635-643, 2013.

RAN, X. *et al.* Effects of salt stress on the photosynthetic physiology and mineral ion absorption and distribution in white willow (*Salix alba* L.). **Plos One**, Singapore, v. 16, n. 11, p. e0260086, 2021.

RATHORE, S. S. *et al.* Sulfur sources mediated the growth, productivity, and nutrient acquisition ability of pearl millet–mustard cropping systems. **Sustainability**, New York, v. 14, n. 22, p. 14857, 2022.

REHMAN, B. *et al.* Seed priming with potassium nitrate can enhance salt stress tolerance in maize. **Phyton International Journal of Experimental Botany**, Buenos Aires, v. 93, n. 8, p. 1819–1838, 2024.

RESENDE, A. V. *et al.* Fertilidade de solos. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa Milho e Sorgo. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. p. 52–60. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/993985/1/Sistema-de-Producao-Cultivo-do-Milho.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

RESENDE, Á. V. *et al.* Manejo da fertilidade do solo e adubação do milho na Região Centro Oeste. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo. Edição Especial Centro-Oeste, out. 2020. 10 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126371/1/Manejo-fertilidade.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2025.

RESENDE, A. V. *et al.* Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “*in natura*” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, Brasília, DF, v. 9, n. 1, p. 19–42, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277880479_SUPRIMENTO_DE_POTASSIO_E_PESQUISA_DE_USO_DE_ROCHAS_IN_NATURA_NA_AGRICULTURA_BRASILEIRA. Acesso em: 12 mar. 2025.

RIBEIRO, B. N. *et al.* Leaching and availability of potassium in soil affected by conventional and coated fertilizer sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 12, p. 924–929, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/54PdR4bqCY8gfdwWrbTPp7n/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 abr. 2025.

RODRIGUES, M. A. D. C. *et al.* Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 127–133, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/JyWKmyH7HYRPTTJkSnS9cXr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2025.

SANGOI, L. *et al.* Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 2, p.187-197, 2009. Disponível em: https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/280/pdf_167. Acesso em: 12 fev. 2025.

SHANMUGAVEL, D. *et al.* Sustainable SMART fertilizers in agriculture systems: A review on fundamentals to in-field applications. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 904, p. 166729, 2023.

SILVA, A. V. *et al.* Controle de plantas daninhas em função de diferentes espaçamentos no milho silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 3, 556-568, 2017. Disponível em: <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/614/pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

SILVA, F. J. *et al.* Variabilidade especial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 3, p. 77-84, 2017. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1625/1559>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SILVA, L. E. B. *et al.* Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, Santana de Ipanema, v. 5, n. 3, p. 1636–1657, 2020. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/869/1039. Acesso em: 15 mar. 2025.

SILVA, M. A. *et al.* Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n. 13, p. e376111335568, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1149543/1/rsd-2022.pdf>. Acesso em: 12 fev, 2025.

SINGH, R. *et al.* Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake in rain-fed corn as affected by NPK fertilization. **Agronomy**, Basel, v. 13, n. 7, p. 1913, 2023.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 126, p. 1- 7, 2009.

STEINER, F. *et al.* Can potassium fertilization alleviate the adverse effects of drought stress on soybean plants?. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 15, p. 1-17, 2022.

STEINER, F. *et al.* Silicate fertilization potentiates the nodule formation and symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 48, p. 212-221, 2018. Disponível e: <https://www.scielo.br/j/pat/a/vFDZxWGpcjpyj4CkCwGwqvQ/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 jan. 2025.

TAGLIEBER, A. *et al.* Aplicação de diferentes doses de cloreto de potássio na cultura da soja / Application of different doses of potassium antioxidants in soybean crop. **Brazilian Journal of Development**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 26041–26059, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/46435/pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

- TAKASU, A. T. *et al.* Produtividade da cultura do milho em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 154–161, 2014. Disponível em: https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/470/pdf_99. Acesso em: 10 mar. 2025.
- TOLLER, M. *et al.* Adubação potássica e época de semeadura em soja para a produção de etanol. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 2, 2018. Disponível em: <https://200.131.173.22/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1114>. Acesso em: 5 nov. 2024.
- UZUN, S.; ÖZAKTAN, H.; UZUN, O. Effects of different nitrogen dose and sources as top-dressing on yield and silage quality attributes of silage maize. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 92, supl. 1, p. e20190030, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/n9xVsHLLqtvCWh6MDHNYngQ/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- VALENZUELA, H. Optimizing the nitrogen use efficiency in vegetable crops. **Nitrogen**, London, v. 5, n. 1, p. 106–143, 2024.
- VIÉGAS, G. P.; FREIRE, E. S. Adubação do milho. XI – efeito residual do fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 17, n. 21, p. 271-287, 1958.
- VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo & Negócios**, São Paulo, v. 41, p. 4-8, 2004.
- WANG, Y. *et al.* Pre-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* confers NaCl tolerance by improving nitrogen status and ion homeostasis in wild soybean (*Glycine soja* L.) seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 21, 2022.
- WU, L.; LIU, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 72, n. 2, p. 240–247, 2008.
- WYSZKOWSKI, M.; BRODOWSKA, M. S. Potassium and nitrogen fertilization vs. trace element content of maize (*Zea mays* L.). **Agriculture**, London, v. 11, n. 2, p. 96, 2021.
- YAHAYA, S. M. *et al.* Recent advances in the chemistry of N, P, K as fertilizer in soil – a review. **Pedosphere**, Beijing, p. S1002016022000807, 2022.
- YIN, M. *et al.* Potassium increases nitrogen and potassium utilization efficiency and yield in foxtail millet. **Agronomy**, Basel, v. 13, n. 9, p. 2200, 2023.
- YOORIN fertilizantes. **Ekosil**: o melhor fertilizante potássico do Brasil. Disponível em: <https://www.yoorin.com.br/produtos/ekosil/>. Acesso em: 12 fev. 2025a.
- YOORIN fertilizantes. **Potasil**: o melhor fertilizante potássico do Brasil. Disponível em: <https://www.yoorin.com.br/produtos/potasil/>. Acesso em: 12 fev. 2025b.
- ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 39, p. 367-371, 2000.

ZAKIR, M. M.; FREITAS, I. R. Benefícios à saúde humana do consumo de isoflavonas presentes em produtos derivados da soja. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 2, n. 3, p. 107–116, 2015.

ZAMBIAZZI, E. V. *et al.* Desempenho agronômico e qualidade sanitária de sementes de soja em resposta à adubação potássica. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 3, p. 543-553, 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16492>. Acesso em: 22 jan. 2025.