

Paula Beatriz Sete

**ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR O APROVEITAMENTO DE
NUTRIENTES POR PEREIRAS (*Pyrus communis* L.)
CULTIVADAS NO SUL DO BRASIL**

Tese submetida ao Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Doutora em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo
Brunetto.

Coorientadores: Pesquisadora. Dra
Marlise Nara Ciotta e Prof. Dr. Jucinei
Jose Comin.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sete, Paula Beatriz

Estratégias para aumentar o aproveitamento de nutrientes por pereiras (*Pyrus communis* L.) cultivadas no Sul do Brasil / Paula Beatriz Sete ; orientador, Gustavo Brunetto, coorientadora, Marlise Nara Ciotta, coorientador, Jucinei José Comin, 2019.

151 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Parâmetros cinéticos. 3. Ciclagem de nutrientes. 4. Qualidade de frutos. 5. Isótopos de 15N. I. Brunetto, Gustavo. II. Ciotta, Marlise Nara. III. Comin, Jucinei José IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. V. Título.

**“Estratégias para Aumentar o
Aproveitamento de Nutrientes por
Pereiras (Pyrus communis L.)
Cultivadas no Sul do Brasil”**

Por

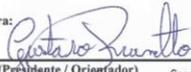
PAULA BEATRIZ SETE

Tese julgada adequada, em 29/03/2019, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Doutora em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.



Prof. Dr. Arcangelo Loss (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:

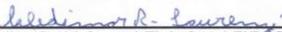


Gustavo Brunetto (Presidente / Orientador)

Prof. Dr. Arcangelo Loss
Coordenador do PPG Agroecossistemas
Centro de Ciências Agrárias/UFSC
Port. 1332/2017/GR de 13/06/2017
Período: 12/06/2017 a 14/07/2019



Danilo Eduardo Rozane (Titular Externo/UNESP) – via videoconferência



Cledimar Rogério Lourenzi (Titular Interno/ENR/PGA/UFSC)



Arcangelo Loss (Titular Interno/ENR/PGA/UFSC)

Candidata ao título:



PAULA BEATRIZ SETE

Florianópolis, 29 de março de 2019

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais, Paulo e Roseli que sempre me ensinaram valores de honestidade e dedicação. Ao meu amado Jorge pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma participaram durante o desenvolvimento deste trabalho. Em especial, ao professor Dr. Gustavo Brunetto, pelas orientações no Mestrado e Doutorado, por sua dedicação e inestimável conhecimento transmitido.

A pesquisadora Dr. Marlise Nara Ciotta, pela co-orientação, amizade, atenção e recepção na Epagri, e pela generosidade em compartilhar os conhecimentos. Ao professor Dr. Jucinei José Comin, pela co-orientação e apoio financeiro. Ao professor Dr. Paul Voroney pela recepção, atenção e pela generosidade em compartilhar conhecimentos durante minha estadia na University of Guelph.

Aos envolvidos na condução dos experimentos de casa de vegetação, análise laboratorial e colaboração intelectual, especialmente: Adrielle Tassinari, Amanda Krug, Alessandra Bacca, Betania de Paula, Beatriz Vitto, Carina Marchezan, Carolina Parcianello, Edicarla Trentin, Gabriel Sans, Jacson Hindersmann, João Pedro Jung, Letícia Morsch, Lincon Stefanello, Luana Garlet, Matheus Kulmann, Ricardo Vidal, Simone Belles, Vanessa Marques, Wagner Squizani e Yohana Calegari, colaboradores do Grupo de estudos de predição de adubação e potencial de contaminação de elementos em solos (Gepaces-UFSM www.gepaces.com.br).

Aos atuais e ex colaboradores do Núcleo de ensino, pesquisa e extensão em Agroecologia (Nepea - UFSC) pelo auxílio na instalação e condução dos experimentos a campo em São Joaquim, em especial: Andrei Tieppo, Andria Lima, Bruna Kamers, Camilo Sepulveda, Eliana Cadoná, Gildean Portela, Jamilli Salume, Leoncio Koucher, Mariana Schlickmann e Vilmar Müller.

Aos colaboradores do Núcleo de Pesquisa em Pós Colheita da UFSM, pelo auxílio nas análises de qualidade de frutos de pereira, em especial, aos colegas Fabio Thewes, Magno Berghetti, Vagner Ludwig e Professor Auri Brackmann.

Aos meus amigos conquistados ao longo da vida, em especial a Daniel José da Rosa, Julia Zappellini e Willian Goldoni Costa, irmãos de profissão; Domitila Souza Santos, Madjana Stoll Barni e Sabrina Brattig, irmãs de coração, e a Ana Cecilia Guedes e Eliana Aparecida Cadoná, colaboradoras da Pós Graduação em Agroecossistemas.

Aos meus queridos pais, Roseli e Paulo Sete pelo apoio incondicional. Ao Jorge Neto, a metade da minha pera, e o amor da minha vida.

A Patricia, Angelina e Sophia Plester e a Karen, Gabriel, Amelia e Charlotte Ting por me receberem em suas casas e por me proporcionarem uma convivência em família no período em que estive no Canadá.

A Karen Ting por ser minha “partner conversation” durante meu período de estadia no Canadá e ao Elmer Warkentin por abrir a sala da sua casa para ensinar estudantes estrangeiros a falar inglês.

A Ana Lúcia Puerro de Melo, Fabieli Feitosa, Gleydson Teixeira, Jorge Neto, Juan Antonio da Silva e a Patricia Plester por permanecerem comigo no “Guelph General Hospital” durante a minha cirurgia e junto com Sandra Vasquez, Flavia Damasceno e Pedro F. Machado serem meu apoio emocional no Canadá.

A UFSC, ao Grupo Gepaces da UFSM, a Estação experimental de São Joaquim da Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina (Epagri) pela estrutura e o auxílio da condução dos experimentos a campo e de casa de vegetação. A empresa de produção de frutas “Quinta Santa Maria” pela concessão das áreas para condução de experimentos a campo.

Este trabalho só foi possível através do apoio financeiro da CAPES (Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), do Ministério da Educação, pela concessão da bolsa brasileira, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico) pela concessão da bolsa produtividade do comitê de orientação e a Global Affairs Canadá pelo financiamento para a bolsa de estudo Elap (Emerging Leaders in the Americas Program) pelo período como pesquisadora visitante junto a University of Guelph no Canadá.

“If you have a dream, fight for it. There's a discipline for passion. And it's not about how many times you get rejected or you fall down or you're beaten up. It's about how many times you stand up and are brave and you keep on going”.
(Germanotta, S.J.A, 2019)

RESUMO

O Brasil possui apenas 1.305 hectares cultivados com pomares de pereira (*Pyrus communis* L.) e produz não mais que 14% da pera consumida no país. A produtividade média da cultura por hectare é de 16,9 mega grama (Mg), uma taxa menor que a observada em tradicionais produtores latino americanos como o Chile e a Argentina (FAO, 2019). Assim, o Brasil tem importado 146,778 mil Mg somente no último ano para suprir a demanda interna da fruta (FAO, 2019). A produtividade brasileira pode ser considerada baixa devido a fatores relacionados a falta de conhecimento sobre as combinações entre cultivares copa e porta enxerto, sobre o hábito de frutificação dessas combinações, do conhecimento sobre polinização, e também sobre adubação e nutrição das plantas. Os nutrientes presentes no solo ou aplicados via fertilizantes nem sempre são absorvidos pelas plantas, o que torna necessário estabelecer estratégias para aumentar o aproveitamento de nutrientes pelas pereiras. O objetivo geral desse trabalho foi estabelecer estratégias para aumentar o aproveitamento de nutrientes pelas pereiras. O trabalho foi estruturado com dois estudos totalizando cinco experimentos. O Estudo 1 foi composto por um experimento com parâmetros cinéticos, onde estabelecemos o V_{max} , K_m , C_{min} e Influxo para dois acessos de porta enxerto '54' e '971' testados para 15 e 30 dias de esgotamento de reservas internas de nutrientes.

No experimento 2 foi avaliada a contribuição de N derivado da decomposição de resíduos de aveia branca e centeio à pereira. No terceiro experimento foram definidas as melhores doses de adubação nitrogenada em função das respostas das plantas, para os teores no solo e nas folhas durante cinco safras consecutivas, e avaliado a qualidade dos frutos na última safra estudada. O Estudo 2 foi composto por dois experimentos de calibração com adubações anuais de P e K, conduzidos durante quatro safras, em que foram aplicados anualmente as doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente. A qualidade de frutos também foi avaliada durante as duas últimas safras de condução dos experimentos. Os resultados do experimento 1 do Estudo 1 demonstram que o acesso '971' é mais eficiente na absorção de NO₃⁻ e NH₄⁺ porque apresentou maiores valores de V_{max} e Influxo. Os dados do experimento 2 do estudo 1 demonstram que o N derivado dos resíduos de aveia branca e centeio aplicados na superfície do solo foi armazenado preferencialmente em órgãos anuais, como os frutos. Contudo, a maior parte do N presente nas pereiras foi derivado a outras fontes que não aquela dos resíduos aplicados.

Os resultados do experimento 3 do estudo 1 verifica-se que após cinco safras de avaliação com adubação nitrogenada não houve incremento de N nas folhas e em parâmetros de produção, evidenciando-se que as pereiras acumulam reservas de N em seus órgãos perenes. No experimento 1 do estudo 2, a aplicação de P ao longo de quatro safras incrementou os teores de P em camadas de solo e nas folhas, que refletiu no aumento de produtividade, na produção de etileno e de respiração dos frutos após 7 dias de armazenamento em temperatura ambiente. As doses mais econômicas para adubação com superfosfato triplo foram de 100,42, 156,11 e 114,31 kg P₂O₅ ha⁻¹ nas safras 2013/14; 2014/15 e 2015/16, respectivamente. No experimento 2 do estudo 2, a adubação potássica aplicada em superfície ao longo de quatro safras, incrementou os teores de K em diferentes camadas de solo. As pereiras cultivadas em solos submetidas às maiores doses de K apresentaram maiores concentrações de K em folhas e produtividade, e menores valores de etileno e taxa respiratória em frutos, o que aumenta o período de armazenamento de frutos em câmara fria e de prateleira. A dose mais econômica foi de 45,40 kg K₂O ha para a safra de 2016/17. Em ambos os experimentos não foi possível determinar os níveis críticos de P e K no solo e em folhas de pereiras.

Palavras-chave: Parâmetros cinéticos. Adubação. Ciclagem de nutrientes. Produtividade. Qualidade de frutos. Isótopos de ¹⁵N. Dose mais econômica.

RESUMO EXPANDIDO

Introdução

A pera é uma fruta comumente cultivada em regiões temperadas do mundo sendo altamente apreciada em diversas culturas e países. Entretanto, sua produção mundial é quatro vezes menor que a produção mundial de maçã, o que pode indicar um futuro promissor para um nicho do mercado de consumo global (JANICK, 2002; FAO, 2019). No Brasil, as importações de pereira atingiram 146,778 megagramas (Mg) no ano de 2018, enquanto a produção nacional foi de apenas 22,108 Mg. Tal produção representa apenas 14% de toda a pera consumida no país (EPAGRI, 2018; FAO, 2019), o que demonstra uma demanda interna atual da pera no mercado brasileiro.

Os pomares de pereira no Brasil possuem fragilidades no mercado interno que impossibilitam a expansão do seu potencial produtivo. Dentro da cadeia produtiva das peras, os produtores enfrentam talvez, os maiores desafios para aumentar sua produtividade, nas quais são possíveis citar: a falta de conhecimento entre as combinações de cultivares copa e porta enxerto; o hábito de frutificação dessas combinações; baixa formação de gemas florais; excesso de crescimento vegetativo; falta de conhecimento sobre polinização; falta de conhecimento de adubação (melhores doses e os níveis críticos dos fertilizantes no solo e nas folhas); e também a falta de conhecimento para a melhora da qualidade dos frutos (PASA et al., 2011; FACHINELLO et al., 2011; PASA et al., 2012; BRACKMANN et al., 2013; BRUNETTO et al., 2015).

Objetivos

O objetivo desta tese foi explorar as melhores estratégias para aumentar o aproveitamento de nutrientes por pereiras, tendo como objetivos específicos: a) Determinar os parâmetros cinéticos (V_{max} , K_m , C_{min} e I) relacionados as formas de NO_3^- e NH_4^+ em dois porta enxertos de pereira em processo de melhoramento; b) Quantificar a recuperação e distribuição de N derivado da decomposição de resíduos da parte aérea de aveia branca e centeio, em um pomar de pereiras em produção; e c) Avaliar as respostas e níveis críticos de macronutrientes no solo e folhas, em pomares de pereiras em produção submetidas a aplicações de N, P e K.

Aspectos metodológicos

Dos cinco experimentos que compõem esta Tese, quatro deles foram conduzidos à campo em um pomar comercial no município de São Joaquim em Santa Catarina, e um conduzido em casa de vegetação. O Estudo 1 foi composto por três experimentos, em que o experimento 1 foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), utilizando dois acessos de porta enxerto em processo de melhoramento pela Embrapa de Vacaria (RS) e o campus da UDESC de Lages (SC). Os porta enxertos utilizados '54' e '971', são provenientes de polinização aberta e de testes com diferentes tipos de copa. Os parâmetros cinéticos de V_{max} , K_m e C_{min} e Influxo, foram estabelecidos para os dois acessos com uso do software RUIZ (1985), para serem testados em dois períodos de esgotamento de reservas de 15 e 30 dias.

O experimento 2 foi conduzido durante a safra 2015/16 em que foram avaliadas a distribuição e aproveitamento do N derivado da decomposição de aveia branca e centeio. A aveia branca e centeio foram cultivados em casa de vegetação, e após serem marcadas com solução contendo 4% de ^{15}N em excesso, tiveram a parte aérea cortada rente a superfície e aplicadas a campo, em uma área de 0,72 m² seguindo a projeção da copa da árvore. A aplicação aconteceu no período de brotação das pereiras sendo o delineamento experimental utilizado, o de blocos ao acaso com três repetições. As folhas das pereiras foram coletadas de outubro até fevereiro no terço médio dos ramos do ano para determinar os valores de N total, átomos de ^{15}N e N derivado dos resíduos (Ndf). Para determinar a produção, os frutos foram coletados e contados ao atingir o estágio de maturação fisiológica. O solo foi coletado nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, e as árvores derrubadas e fracionadas nos seus diferentes órgãos (raíz, caule, ramo de ano, ramos do ano, folhas e frutos) para determinar os valores de N total, átomos de ^{15}N e N derivado dos resíduos (Ndf).

O experimento 3 foi conduzido por cinco safras consecutivas de 2011/12 a 2015/16, testando doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg N ha⁻¹ na forma de ureia. Os fluxos de NO_3^- , NH_4^+ e N mineral no solo, o teor de N, P e K nas folhas, e os parâmetros de produção foram avaliados. Durante a safra 2015/16 foram avaliados parâmetros de qualidade como: cor da pele, firmeza de polpa, ácidos totais tituláveis, sólidos solúveis, produção de etileno e taxa respiratória após 90 dias de armazenamento em atmosfera controlada e após 7 dias em condição ambiente a 20°C (BRACKMANN et al., 2013).

O Estudo 2 foi composto por dois experimentos de calibração para adubação de P e K com doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de P₂O₅ e K₂O ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio. Os

experimentos foram conduzidos por quatro safras consecutivas de 2013/14 até 2016/17. O conteúdo de P disponível e K trocável no solo, foram extraídos por Mehlich 1 nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,0-0,20 m, paralelamente com a determinação do conteúdo total de N, P, K, Ca e Mg nas folhas (TEDESCO et al., 1995). Determinou-se os parâmetros de produção com o mesmo método utilizado no experimento 3 do estudo 1. Nas safras 2015/16 e 2016/17, os parâmetros de cor da casca, firmeza de polpa, acidez total titulável, sólidos solúveis, produção de etileno e taxa respiratória foram avaliados após 90 dias de armazenamento em câmara fria com atmosfera controlada e também após 7 dias em câmara com temperatura de 20°C, simulando a vida de prateleira (BRACKMANN et al., 2013).

Os resultados dos experimentos foram submetidos aos testes de homogeneidade e normalidade, e quando cumpriram os preceitos estatísticos, foram submetidos a análise de variância e aos testes específicos.

Resultados e discussão

Os resultados do experimento 1, Estudo 1, com parâmetros cinéticos de NO_3^- e NH_4^+ , demonstraram que o acesso '971' foi mais eficiente na absorção de NO_3^- e NH_4^+ , pois apresentou maiores valores de V_{max} e Influxo. O acesso '971' também teve maior afinidade com o íon NO_3^- quando correlacionado com os parâmetros fisiológicos de fluorescência mínima (F_o) e de taxa de transporte de elétrons (ETR_m).

Os dados do experimento 2 demonstraram que o N derivado dos resíduos de aveia branca e centeio aplicados na superfície do solo, foi armazenado preferencialmente em órgãos anuais como os frutos. Contudo, a maior parte do N presente nas pereiras foi derivado de outras fontes que não aquela dos resíduos aplicados.

Após cinco safras com adubação nitrogenada na forma de ureia no experimento 3, verificou-se que não houve incremento de N nas folhas e em parâmetros de produção, o que sugere que as pereiras acumularam reservas de N nos seus órgãos perenes.

Os experimentos conduzidos no Estudo 2, apresentaram resultados da condução de quatro safras com aplicação de fertilizantes fosfatados e potássicos em um pomar comercial. A aplicação de superfosfato triplo sobre a superfície do solo incrementou os teores de P em camadas de solo e em folhas, em que gerou um aumento na produtividade, na produção de etileno e na respiração dos frutos após 7 dias de armazenamento em temperatura ambiente. As doses mais econômicas para adubação com superfosfato triplo foram de 100,42,

156,11 e 114,31 kg P₂O₅ ha⁻¹ nas safras 2013/14; 2014/15 e 2015/16, respectivamente.

A aplicação de cloreto de K ao longo de quatro safras incrementou os teores de K em diferentes camadas de solo. As pereiras cultivadas em solos submetidas às maiores doses de K apresentaram maiores concentrações de K em folhas e maiores produtividades. Os frutos apresentaram menores valores de etileno e de taxa, o que aumentou o período de armazenamento em câmara fria e em prateleira. A dose mais econômica foi calculada para a safra de 2016/17 e foi de 45,40 kg K₂O ha. Os resultados de conteúdo de P e K no solo e nas folhas não permitiram o estabelecimento de níveis críticos para a pereira.

Considerações finais

A adoção de futuras estratégias baseadas nesse estudo, podem contribuir para um melhor aproveitamento de nutrientes (N, P e K) por pereiras cultivadas na região Sul do Brasil. Adubações mais coerentes que supram a demanda da plantas, podem reduzir o custo de produção sem aumentar o impacto ambiental. Plantas de cobertura também podem ser utilizadas para aumentar o N disponível no solo, contribuindo para a diminuição de perdas de nutrientes por escoamento superficial. A técnica utilizada para determinar os parâmetros cinéticos nas pereiras, pode ser utilizada como forma de escolha de cultivares mais eficientes na absorção de NO₃⁻ e NH₄⁺.

Palavras-chave: Parâmetros cinéticos de absorção de NO₃⁻ e NH₄⁺. Plantas de cobertura marcadas com ¹⁵N. Experimentos de calibração com P e K. Qualidade de frutos de pereira.

ABSTRACT

Brazil has only 1.305 hectares cultivated with pear trees (*Pyrus communis* L.) and produces no more than 14% of the pear consumed in the country. The average yield of pear per hectare is 16.9 megagrams (Mg), lower than what is observed in orchards of traditional Latin American producing countries, such as Chile e Argentina. Thus, Brazil imported in 2018, 146.778 thousand Mg to supply the internal demand for pear fruit. The small yield can be explained due to factors related to the lack of producer's knowledge about combinations between scion and rootstock, pollination, soil fertilization, and plant nutrition. The study aimed to establish strategies to increase nutrients uptake efficiency by pear trees. Two studies were carried out, totalizing five experiments. In Study 1, Experiment 1 was performed to establish the kinetic parameters (V_{\max} , K_m , C_{\min} , and Influx) in two pear tree access '54' and '971', at 15 and 30 days of internal nutrients reserves depletion. In Experiment 2, N contribution derived from white oats and rye residues decomposition was evaluated. In Experiment 3, the most economical nitrogen fertilization dose was defined considering plant reaction to soil and leaves N content during five consecutive crops, and evaluated fruits quality in the last crop studied. Study 2 was composed by two calibration experiments with annual P and K fertilization conducted during four crops, whereas doses of 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅ e K₂O were applied annually. Fruit quality was also evaluated during the last two crops for this study. The results of experiment 1 of Study 1 show that access '971' is more efficient in NO₃⁻ and NH₄⁺ uptake because it presented higher values of V_{\max} and Influx. Data from experiment 2 of study 1 demonstrate that the N derived from white and rye oats residues were stored in annual organs, such as fruits. However, most of the N contained in the pear was derived from other sources. The results of experiment 3 of study 1 show that after five evaluated crops with nitrogen fertilization there was no increase of N in the leaves and yield parameters, evidencing that pear trees accumulated N reserves in their perennial organs. In experiment 1 of study 2, P application over four seasons increased P levels in soil layers and leaves, which reflected a yield increased followed by ethylene production and fruit respiration after 7 days of storage under ambient temperature. The most economical doses for triple superphosphate fertilization were 100.42, 156.11 and 114.31 kg P₂O₅ ha⁻¹ in these season crops of 2013/14, 2014/15 and 2015/16, respectively. In Experiment 2 of Study 2, the potassium fertilization applied over soil surface during four crops increased P

levels in different soil layers. The pear trees cultivated in soils subjected to the highest K doses presented higher K concentrations in leaves and a higher yield. However, they presented lower values of fruit ethylene production and respiratory rate, which can increase the storage period of fruits in cold rooms and on the shelf. The most economical dose was 45.40 kg K₂O ha⁻¹ for season crop of 2016/17. In both experiments, it was not possible to determine the critical levels of P and K in the soil and leaves of pear trees.

Keywords: Kinetic parameters. Fertilization. Nutrient cycling. Yield. Fruit quality. ¹⁵N isotopes. Most economical doses.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros morfológicos dos acessos ‘54’ e ‘971’, cultivados em solução nutritiva de Hoagland durante 15 e 30 dias após a redução de reservas internas (DRI) em solução de CaSO_4 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$)	48
Tabela 2. Parâmetros fisiológicos dos acessos ‘54’ e ‘971’, cultivados em solução nutritiva de Hoagland durante 15 e 30 dias após a redução de reservas interna (DRI) em solução de CaSO_4 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$).	49
Tabela 3. Características da camada de 0,0-0,20 cm do solo, antes da instalação do experimento.....	61
Tabela 4. Caracterização química de resíduos da parte aérea de aveia branca e centeio no início do experimento e quantidades de matéria seca e nutriente adicionadas pelos resíduos de parte aérea.....	62
Tabela 5. Matéria seca, N total, átomos de ^{15}N , N derivado de resíduos (Ndfr) e N derivado do solo (Ndfo) em órgãos de pereiras em produção cultivados em solo com deposição de resíduos de aveia preta e centeio.....	66
Tabela 6. Concentração de N total, átomos de ^{15}N e N derivado de resíduo (Ndfr) em camadas de solo cultivado com pereira em produção e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.	66
Tabela 7. Quadro de análise de variância da variável matéria seca (g planta^{-1}) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	69
Tabela 8. Quadro de análise de variância da variável N total (g kg^{-1}) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	70
Tabela 9. Quadro de análise de variância da variável N total (mg planta^{-1}) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	70
Tabela 10. Quadro de análise de variância da variável ^{15}N (at % ^{15}N , excesso) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	70
Tabela 11. Quadro de análise de variância da variável N derivado de resíduos (Ndfr) (% N total no órgão) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	71
Tabela 12. Quadro de análise de variância da variável N derivado de resíduos (Ndfr) (mg planta^{-1}) em órgãos de pereira	

cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	71
Tabela 13. Quadro de análise de variância da variável N derivado do solo (Nd _{fs}) (% N total no órgão) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	71
Tabela 14. Quadro de análise de variância da variável N derivado do solo (Nd _{fs}) (mg planta ⁻¹) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	72
Tabela 15. Quadro de análise de variância da variável N total (%) em camadas de solo cultivado com pereira e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.	72
Tabela 16. Quadro de análise de variância da variável ¹⁵ N total (at. % excesso) em camadas de solo cultivado com pereira e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.	72
Tabela 17. Quadro de análise de variância da variável N derivado de resíduo (Nd _{fr}) (%) em camadas de solo cultivado com pereira e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.	73
Tabela 18. Quadro de análise de variância da variável N total (g kg ⁻¹) de folhas de pereira em produção cultivada em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	73
Tabela 19. Quadro de análise de variância da variável átomos de ¹⁵ N (¹⁵ N % atm. excesso) de folhas de pereira em produção cultivada em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	74
Tabela 20. Quadro de análise de variância da variável N derivado dos resíduos (Nd _{fr}) (%) de folhas de pereira em produção cultivada em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.	74
Table 21. Leaf nutrient concentration, fruit number and weight, production per plant and per hectare in pear trees submitted to nitrogen application.	84
Table 22. Quality parameters of pear (cv. Rocha) submitted to N doses after 90 days of refrigerated storage and after 7 days at ambient conditions in the 2015/2016 crop season.	85
Table 23. Physical and chemical characteristics of the soil Typic Huplumbrept at 0-0.20 m layer before the implantation of the experiment, in São Joaquim (SC).	911
Table 24. Available P content in soil layers, leaf nutrient concentration, fruit number and weight, production per plant in pear trees submitted to P application.	95

Table 25. Quality parameters of pear (cv. Rocha) submitted to P doses after 90 days of refrigerated storage and after 7 days at ambient conditions in the 2015/2016 and 2016/2017 crop season.	100
Tabela 26. Características físicas e químicas de um solo Cambissolo húmico na camada 0,0-0,20 m, antes da implantação do experimento em pomar de pereira, em São Joaquim (SC), Sul do Brasil.	106
Tabela 27. Conteúdo de K extraído por Mehlich-1 no solo, concentrações totais de N, P, K, Ca e Mg em folhas, número de frutos por planta, massa média de frutos, produção e produtividade de frutos, em pereiras submetidas à aplicação de doses de K no solo.	111
Tabela 28. Cor da casca, firmeza de polpa, acidez total titulável e sólidos solúveis totais, provenientes de pereiras submetidas à aplicação de doses de K no solo durante as safras 2015/2016 e 2016/2017, após 90 dias de armazenamento em atmosfera controlada e após 7 dias em condição ambiente a 20° C.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ilustrativo da montagem do experimento de cinética de absorção de N em pereira.....	44
Figura 2. Taxa de Influxo, C_{min} , K_m e V_{max} de NO_3^- nos acessos '54' e '971', cultivados em solução de Hoagland após 15 (a) e 30 dias (b) de esgotamento de reservas internas de nutrientes em $CaSO_4$ (0,01 mol L ⁻¹).....	50
Figura 3. Taxa de Influxo, C_{min} , K_m e V_{max} de NH_4^+ nos acessos '54' '971', cultivados em solução de Hoagland após 15 (a) e 30 dias (b) de esgotamento das reservas internas em $CaSO_4$ (0,01 mol L ⁻¹).....	51
Figura 4. Concentrações de NO_3^- nos acessos '54'(a) e '971' (b), após 30 dias de esgotamento de reservas internas.....	52
Figura 5. Concentrações de NH_4^+ nos acessos '54'(a) e '971' (b), após 30 dias de esgotamento de reservas internas.....	53
Figura 6. Relação entre componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) para as varáveis de parâmetros cinéticos (V_{max} , K_m e C_{min}), parâmetros morfológicos (matéria seca de raízes, caule e folhas; altura, diâmetro de caule; N em folhas, caule e raízes) e parâmetros fisiológicos (fluorescência mínima – F_o , fluorescência máxima – F_m , relação F_v/F_m e a taxa de transporte de elétrons - ETR_m).....	55
Figura 7. Precipitação e temperatura média mensal após a deposição dos resíduos de aveia branca e centeio na área experimental, durante os estádios fenológicos da pereira.....	61
Figura 8. Valores de N total (a), átomos de ¹⁵ N (b) e N derivado dos resíduos (Ndfr) (c) em folhas de pereira em produção cultivadas em solo com deposição da parte aérea de resíduos de aveia branca e centeio.	65
Figure 9. Average monthly rainfall (mm) and air temperature (°C) in 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 and 2016.....	78
Figure 10. N- NH_4^+ (a), N- NO_3^- (b) and mineral N (c) concentration at 0.0-0.20 m in a pear orchard submitted to nitrogen doses. Vertical bars indicate the standard error of the mean.	83
Figure 11. Average monthly rainfall (mm) and air temperature (°C) in 2013, 2014, 2015, 2016 and 2017.....	90
Figure 12. Relationship between of triple superphosphate (P_2O_5) doses and yield in the period from (a) crop 2013/14; (b) crop 2014/15 and (c) crop 2015/16, to establish the most economical dose.	98
Figure 13. Relation between available P content, in crop 2013/2014 to 2016/2017, in the 0.0-0.10 m soil layer and the relative	

yield of the pear trees (a); relation between the available P content in the 0.0-0.20 m soil layer and the relative yield of the pear trees (b); relation between the total P content in the leaf and the relative yield of the pear trees (c). 99

Figura 14. Médias de precipitação acumulada (mm) e temperatura média do ar (°C) observadas mensalmente durante as safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017. 105

Figura 15. Relação entre a dose de cloreto de potássio (K₂O) e a produção de frutos de pereira cv. Rocha durante a safra 2016/2017... 113

Figura 16. Relação entre o rendimento relativo e o conteúdo de K trocável no solo na camada de 0.0 à 0.10 m (a), de 0.0 à 0.20 m (b), e a concentração de K em folhas (c), durante as safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/16 e 2016/2017..... 114

Figura 17. Relação entre o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) para grupos variáveis de crescimento (concentrações de N, P, K, Ca e Mg em folhas), produção (número de frutos por planta⁻¹, produção por planta⁻¹, massa de frutos), parâmetros químicos do solo (K trocável nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,0-0,20 m do solo) em pereiras submetidas a doses de K no solo, nas safras de 2014/2015 (a), 2015/2016 (b), 2016/2017 (c), e com variações climáticas (d) 116

Figura 18. Produção de etileno (a) e taxa respiratória (b) de frutos de pera provenientes de pereiras submetidas à aplicação de doses de K na safra 2016/2017, após 90 dias de armazenamento em atmosfera controlada e após 7 dias em condição ambiente a 20° C. 118

Figura 19. Estudo 1 – Experimento 1 – Parâmetros cinéticos relacionados a eficiência de absorção de formas de nitrogênio em pereira (*Pyrus communis*). (a) lavagem de raízes, (b) medidas da altura e diâmetro de plantas antes da instalação do experimento, (c) leituras noturnas de fluorescência e (d) condução do experimento. 141

Figura 20. Estudo 1 – Experimento 3 – Contribuição de N derivado da decomposição da parte aérea de aveia branca (*Avena sativa*) e centeio (*Secale cereale*) para a nutrição de pereiras. (a) cultivo de aveia branca e centeio em casa de vegetação, (b) preparo da solução contendo isótopos de ¹⁵N a ser aplicada nas espécies de plantas de cobertura, (c) aplicação do resíduo das plantas de cobertura na projeção da copa de pereiras, (d) colheitas das plantas de pereiras. 142

Figura 21. Estudo 2 - Experimento 2 - Produtividade e qualidade de frutos em de pereiras (*Pyrus communis*) com longo histórico de aplicações de potássio no solo. (a) poda de pereiras em

agosto, (b) adubação potássica da pereira em fevereiro (c, d, e) e colheita. 143

OVERVIEW

Esta Tese é resultado da parceria de ensino e pesquisa entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a *University of Guelph* no Canadá.

O projeto de Tese iniciou em março de 2015 e foi concluído em março de 2019, com experimentos de campo realizados em um pomar comercial no município de São Joaquim (SC) com auxílio da Estação Experimental da Epagri e experimentos de casa de vegetação realizados na UFSC em Florianópolis (SC) e na UFSM em Santa Maria (RS).

Em 2018, recebi uma bolsa de estudos financiada pelo Programa de Líderes Emergentes nas Américas (ELAP) para passar seis meses no Canadá como pesquisadora visitante para realizar um estudo em associação com o Prof. Paul Voroney no departamento de Meio Ambiente. Naquela ocasião, desenvolvemos a ideia de realizar um estudo com modelagem matemática usando o software Century model. O modelo Century model é um modelo utilizado para simular a dinâmica de carbono e nutrientes para diferentes tipos de ecossistemas. O modelo calcula o fluxo de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre podendo ainda determinar os três “pools” de matéria orgânica do solo (ativo, lento e passivo) com diferentes taxas de decomposição. O modelo possui um submodelo para pastagem que simula a produção de plantas para diferentes espécies e comunidade de plantas. O manejo das plantas de cobertura, como o pastoreio, fogo e roçadas também podem ser simulados.

Com base nisso, o nosso projeto era modelar a dinâmica de nutrientes para o “pool” de espécies de cobertura que ocorrem naturalmente no pomar. Após várias tentativas de modelagem, percebemos que era necessário conduzir os experimentos com plantas de cobertura por longos anos para sustentar um modelo. Após o retorno ao Brasil, em julho de 2018 conseguimos outros dados com diferentes manejos de plantas de cobertura em pomares de videira. Atualmente esses dados estão sendo modelados para assim poder concluir o trabalho iniciado em 2018. Por este motivo o trabalho de tese defendido em março de 2019 não incluiu o estudo com o modelo Century Model.

A tese está organizada da seguinte maneira: uma introdução geral; a revisão de literatura; hipótese e objetivos e dois estudos compostos por cinco manuscritos. O *Estudo 1* trata da “Eficiência de absorção e estratégias de fornecimento de N em pereira” e é composto por três experimentos: *i*) Parâmetros cinéticos relacionados à eficiência de absorção de formas de nitrogênio em pereira (*Pyrus communis*); *ii*) Yield, fruit quality and nitrogen content in pear (*Pyrus communis*) orchard cv. Rocha submitted to different nitrogen fertilization doses; *iii*) Contribuição de N derivado da decomposição da parte aérea de aveia branca (*Avena sativa*) e centeio (*Secale cereale*) para a nutrição de pereiras. O *Estudo 2* aborda a ‘Resposta de pereiras à adubação fosfatada e potássica’ e é composto por dois experimentos de calibração: *i*) Phosphate fertilization on pear trees (*Pyrus communis*) cv. Rocha cultivated in altitude soil; *ii*) Produtividade e qualidade de frutos em pereiras (*Pyrus communis*) com longo histórico de aplicações de potássio no solo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	27
2. REVISÃO	31
2.1.Cultivo de pereira.....	31
2.2.Parâmetros cinéticos relacionados à absorção de nutrientes	32
2.3.Contribuição de N derivado da decomposição de resíduo de plantas de cobertura do solo para frutíferas.....	33
2.4.Resposta de pereiras à adubação e estabelecimento de níveis críticos de nutrientes	36
3. HIPÓTESES.....	40
4. OBJETIVOS	40
4.1.Geral	40
4.2.Específicos	40
5. ESTUDOS.....	41
5.1.ESTUDO 1 “Estratégias para fornecimento de nitrogênio em pereiras”.....	41
5.1.1.Experimento 1. Parâmetros cinéticos relacionados à eficiência de absorção de formas de nitrogênio em porta enxerto de pereira (<i>Pyrus communis</i>).....	41
5.1.1.1.Resumo	41
5.1.1.2.Introdução	41
5.1.1.3.Material e métodos.....	43
5.1.1.3.1.Localização e tratamentos.....	43
5.1.1.3.2.Florescência da clorofila a	45
5.1.1.3.3.Avaliação da marcha cinética	45
5.1.1.3.4.Análises de nutrientes no tecido e solução	46
5.1.1.3.5.Determinação dos parâmetros cinéticos	46
5.1.1.3.6.Análise estatística.....	47
5.1.1.4.Resultados e Discussão.....	47
5.1.1.4.1.Parâmetros morfológicos e fluorescência da clorofila a	47
5.1.1.4.2.Tempo de esgotamento de reservas de N	49
5.1.1.4.3.O melhor tempo de avaliação da marcha cinética de absorção de N	52
5.1.1.4.4.Análise de componentes principais (ACP)	54
5.1.1.5.Conclusões	56
5.1.2.Experimento 2. Contribuição de N derivado da decomposição da parte aérea de aveia branca (<i>Avena sativa</i>) e centeio (<i>Secale cereale</i>) para a nutrição de pereiras ‘Rocha’ (<i>Pyrus communis</i>).....	57
5.1.2.1.Resumo.....	57

5.1.2.2.Introdução	57
5.1.2.3.Material e métodos.....	59
5.1.2.3.1.Cultivo das plantas de cobertura	59
5.1.2.3.2.Localização do experimento e deposição de resíduos de aveia branca e centeio marcados com ¹⁵ N em pomar de pereira.....	60
5.1.2.3.3.Avaliações e análise dos totais de N e ¹⁵ N	63
5.1.2.3.4.Cálculos e análise estatística.....	63
5.1.2.4.Resultados.....	64
5.1.2.5.Discussão.....	67
5.1.2.6.Conclusões	69
5.1.3.Experimento 3 Yield, fruit quality and nitrogen content in pear (<i>Pyrus communis</i>) orchard cv. Rocha submitted to different nitrogen fertilization doses.....	75
5.1.3.1.Abstract.....	75
5.1.3.2.Introduction	75
5.1.3.3.Material and methods.....	77
5.1.3.3.1.Location and treatments	77
5.1.3.3.2.Leaf collection and nutrient analysis	79
5.1.3.3.3.Yield and chemical analysis of fruits after harvesting and storing.....	80
5.1.3.3.4.Soil collection and analysis of N forms.....	81
5.1.3.3.5.Statistical analyses	81
5.1.3.4.Results.....	82
5.1.3.4.1.N in soil.....	82
5.1.3.4.2.Leaf nutrient concentration tree yield and fruit quality..	84
5.1.3.5.Discussion.....	85
5.1.3.6.Conclusions	86
5.2.ESTUDO 2. “Resposta de pereiras à adubação fosfatada e potássica”.....	87
5.2.1.Experimento 1. Phosphate fertilization on pear trees (<i>Pyrus communis</i>) cv. Rocha cultivated in altitude soil.....	87
5.2.1.1.Abstract.....	87
5.2.1.2.Introduction	87
5.2.1.3.Material and methods.....	89
5.2.1.3.1.Location and treatments	89
5.2.1.3.2.Leaf collection and nutrient analysis	91
5.2.1.3.3.Yield and chemical analysis of fruits after harvesting and storing.....	91
5.2.1.3.4.Soil collection	92
5.2.1.3.5.Statistical analyzes	93

5.2.1.4.Results and Discussion.....	94
5.2.1.4.1.Soil and leaves P	94
5.2.1.4.2.Fruit production, most economical dose, and critical soil and leaves P levels.....	96
5.2.1.4.3.Fruit Quality.....	100
5.2.1.5.Conclusions	101
5.2.2.Experimento 2. Produtividade e qualidade de frutos em de pereiras (<i>Pyrus communis</i>) com longo histórico de aplicações de potássio no solo.....	102
5.2.2.1.Resumo.....	102
5.2.2.2.Introdução.....	102
5.2.2.3.Material and methods.....	104
5.2.2.3.1.Área experimental e descrição dos tratamentos.....	104
5.2.2.3.2.Coleta de folhas e análise de nutrientes	106
5.2.2.3.3.Produção e análise de qualidade de frutos após a colheita e armazenamento.....	107
5.2.2.3.4.Coleta de solo.....	108
5.2.2.3.5.Análise estatísticas e cálculos	108
5.2.2.4.Resultados e Discussão	109
5.2.2.4.1.K no solo e em folhas.....	109
5.2.2.4.2.Produtividade, dose mais econômica e níveis críticos de K no solo e em folhas.....	113
5.2.2.4.3.Análise de componentes principais (ACP).....	115
5.2.2.4.4.Qualidade de frutos	117
5.2.2.5.Conclusão	119
6. DISCUSSÃO GERAL.....	121
7. ESTUDOS FUTUROS	123
8. REFERÊNCIAS.....	124
9. APÊNDICES.....	141
10. VITA.....	145

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Sul do Brasil possui condições edafoclimáticas favoráveis para o cultivo da pereira (*Pyrus communis* L) seu crescimento e produtividade (FACHINELLO et al., 2011; MELLO, 2013). O consumo brasileiro de pera nos últimos 10 anos aumentou 20% (FACHINELLO et al., 2011; MELLO, 2013), mas a área cultivada ainda é pequena, não ultrapassando 1.305 ha (FAO, 2019) e produzindo apenas 14% de toda a pera consumida no país.

O Brasil consumiu 170 mil mega gramas (Mg) de pera no último ano importando 86% dos frutos em maior número da Argentina e Chile e em menor quantidade dos Estados Unidos da América e Portugal (IBGE, 2018; FAO, 2019). A importação pode representar maior custo para a obtenção da fruta, menor geração de empregos no campo e menor incremento de renda nos pólos produtores de frutas de clima temperado (Embrapa, 2013). A produtividade média dos cultivos no Brasil é de 16 Mg ha⁻¹ (FAO, 2019), mas a cultura possui potencial para a ampliação desse rendimento uma vez que Argentina e Chile atingem produtividades acima de 35 Mg ha (FAO, 2019), e estão localizados em condições ambientais semelhantes para a produção da fruta.

O Rio Grande do Sul (RS) possui as maiores áreas de cultivo da fruta seguido pelos estados de Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), que juntos representam 95% da produção nacional (IBGE, 2018). A produção de SC representa 56% da produção brasileira de pera (IBGE, 2018), e tem 91 produtores da fruta no estado (EPAGRI, 2018), totalizando 408 ha colhidos (EPAGRI, 2018; IBGE, 2018).

O Planalto Sul Catarinense responde por 63,7% da produção de pera no estado, e os municípios de Bom Retiro e São Joaquim possuem o maior número de produção e produtores da fruta da região (EPAGRI, 2018). A média de produção para a fruta no estado é de 15,2 Mg ha, um pouco menor que a produção brasileira de 16,9 Mg ha, porém muito inferior que os maiores produtores latino Americanos que chegam a 36,2 Mg ha (FAO, 2019).

A baixa produtividade das pereiras no Brasil está associada a falta de conhecimento em combinações de cultivares copa e porta enxertos, desconhecimento sobre a frutificação dessas combinações, o excesso de crescimento vegetativo (MACHADO et al., 2015; PASA et al., 2010, 2011); como também às práticas de manejo, como poda, polinização (SEZERINO; ORTH, 2015) e também a adubação (BRUNETTO et al., 2015a, 2015b).

A escolha de combinações de porta enxerto e copa é condição importante para o vigor das plantas, que pode se refletir em frutificação, sombreamento, produção de ramos, produção de frutas e na absorção de nutrientes (IKINCI et al., 2014). Grande parte dos pomares existentes no Brasil utilizam o porta enxerto *Pyrus calleryana*, o qual induz vigor excessivo à cultivar copa, gerando um excesso de ramos e custos adicionais com podas (PASA et al., 2010, 2011). O marmelo (*Cydonia oblonga*) é também utilizado como porta enxerto proporcionando uma redução no porte e vigor das cultivares copa, além de melhorar a produtividade (MACHADO et al., 2015; PASA et al., 2011). A escolha dos porta enxertos normalmente é baseada em características que envolvem a resistência à pragas e doenças, a facilidade de manejo e ganho em produtividade. No entanto, não é considerada a eficiência de absorção de nutrientes pelos porta-enxertos, especialmente de N, que causa o maior impacto no crescimento e produtividade da cultura (BRUNETTO et al., 2015b; SORRENTI et al., 2017).

A eficiência de absorção de N é definida pelos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes, que são representados pela velocidade máxima de absorção (V_{max}), constante de Michaelis-Menten (K_m), concentração mínima (C_{min}) e influxo (I), e determinam a eficiência da absorção de nutrientes, como o nitrogênio (N) (BATISTA et al., 2016; HORN et al., 2006; LIMA; NEVES; LEITE, 2005; YANG et al., 2007). O desejado são que as cultivares quando cultivadas em solos com menores teores de nutrientes, apresentem parâmetros com menor K_m e C_{min} , e um maior I. Assim, as plantas poderão absorver nutrientes com maior eficiência, gerando produtividades satisfatórias e frutos com qualidade desejada pelo mercado consumidor. O uso de cultivares com essas características pode representar uma redução dos gastos com a aquisição de fertilizantes e redução da probabilidade de contaminação de mananciais hídricos decorrentes de adubações excessivas (CARRANCA; BRUNETTO; TAGLIAVINI, 2018).

No Brasil, é comum a presença de plantas espontâneas ou plantas de cobertura semeadas junto às linhas e e entrelinhas de pomares de pereira, que podem ter a sua parte aérea roçada, permanecendo os seus resíduos na superfície do solo. O objetivo principal da roçada é diminuir a competição por água e nutrientes pelas plantas de cobertura com a pereira, mas também almeja facilitar a execução de atividades dentro do pomar. Outra alternativa à roçada, é o controle químico das plantas de cobertura, através do dessecamento com herbicida nas linhas de plantio (BRUNETTO et al., 2014; NETO et al., 2011; RAMOS et al., 2010).

Após o manejo das plantas de cobertura, a parte aérea permanece sobre a superfície do solo dos pomares, assim como as raízes permanecem sobre o solo favorecendo a decomposição desse material e também a ciclagem de nutrientes no solo. A taxa de decomposição e de liberação de N pelos resíduos das plantas de cobertura depende de vários fatores como: quantidade de material, da espécie vegetal presente, da relação C/N desse material, conteúdo de lignina, celulose e relação lignina/celulose; além de condições de solo e clima (REDIN et al., 2014a, 2014b). Uma vez o resíduo decomposto, parte do N liberado para o solo pode ser absorvido pela pereira. Assim, podem ser diminuídas as doses de N aplicadas ao solo via adubação nitrogenada, o que significa diminuição de custos, mão-de-obra e até riscos de contaminação do meio ambiente (CARRANCA; BRUNETTO; TAGLIAVINI, 2018).

Como os resíduos de diferentes espécies de plantas de cobertura podem apresentar diferentes taxas de decomposição e liberação de N, é importante o desenvolvimento de experimentos para avaliar o sincronismo entre a liberação do nutriente e a necessidade da planta. A técnica de marcação de plantas de cobertura com isótopos de ^{15}N permite obter informações precisas sobre qual a porcentagem ou quantidade de N derivada dos resíduos que permanece no solo e é recuperado pela cultura sucessiva, neste caso a pereira (BRUNETTO et al., 2014b; MOTA et al., 2011; NETO et al., 2007; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; ROCCUZZO et al., 2017).

O Planalto Sul Catarinense, onde são observadas as maiores áreas colhidas com a pereira, há predominância de Neossolos Litólicos (SANTOS, 2013). Tais tipos de solos são rasos e possuem um contato lítico (rochas) dentro de 50 cm de profundidade, o que dificulta o crescimento radicular da planta. O cultivo das pereiras nessa condição de solo faz com que as plantas absorvam menores quantidades de nutrientes, uma vez que as raízes crescem em camadas mais superficiais. As baixas temperaturas do ar e do solo são predominantes na maioria dos meses do ano, o que retarda a atividade da população microbiana do solo, reduzindo a mineralização, e por consequência, a sua disponibilidade às plantas. Por essa razão, torna-se necessário a aplicação de N, P e K em pomares de pereira no estado de Santa Catarina (BRUNETTO et al., 2015a, 2015b).

Para os estados da região Sul do Brasil, a adubação de manutenção com N, P e K na pereira já foi diagnosticada com base no teor total de nutrientes em folhas completas, no crescimento dos ramos do ano e na produtividade esperada (CQFS-RS/SC, 2004). Mas

atualmente, as doses de N são estabelecidas com base no teor de matéria orgânica e as doses de P e K são definidas considerando a expectativa de produção e o teor de nutriente no solo (CQFS-RS/SC, 2016). Porém, essas recomendações não foram elaboradas a partir de experimentos de calibração, em que quantidade de N, P e K adicionadas foram relacionadas ao estado nutricional da planta, produtividades ou qualidade de frutos. Dessa maneira, é necessário definir as melhores doses de N, P e K e, se possível, níveis críticos destes nutrientes no solo e tecido foliar. Através desses parâmetros, espera-se que proporcionem uma elevada produtividade e frutos com qualidade desejada, valores adequados de firmeza, açúcares e acidez, aliado a um maior tempo de armazenamento.

Dessa forma, a fim de melhorar as estratégias para aumentar a absorção de nutrientes pelas pereiras, espera-se encontrar porta enxertos mais eficientes na absorção de N, avaliar a contribuição dos resíduos de plantas de cobertura para a nutrição das pereiras e adotar doses de N, P e K que favoreçam o rendimento da pereira.

2. REVISÃO

2.1. Cultivo de pereira

O maior produtor de pera do mundo é a China, com 957,321 hectares cultivados (FAO, 2019) que corresponde à 67,3% da produção mundial de pera (MELLO, 2013). O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, no qual somente 8% da área cultivada é destinado ao cultivo de frutas de clima temperado, como as pereiras. Sua área representa 0,5% do total da área cultivada com frutíferas temperadas (FACHINELLO et al., 2011). A produção anual de pera no Brasil é de 22,109 mil toneladas (FAO, 2019), correspondendo a 14% da demanda interna de frutos, suprida com a importação de países como Argentina, Chile, Estados Unidos da América e Portugal (MELLO, 2013; FAO, 2019).

A região Sul do Brasil produz 95% da produção nacional com 1246 ha colhidos com pera (IBGE, 2018) Santa Catarina (SC) possui 408 ha cultivados, sendo responsável por cerca de 56% da produção nacional de pera (IBGE, 2018; EPAGRI, 2018). Na maior parte dos casos, as propriedades que cultivam pera possuem área média de 2 hectares e a mão-de-obra familiar, associada à contratação diária de funcionários nos períodos de maiores atividades como a colheita. A maior área cultivada com a pereira em SC está localizada no município de São Joaquim, que possui 160 ha, sendo a produtividade média de 10 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2018; EPAGRI, 2018).

A produtividade nacional de pera é 16,9 Mg ha, menor que a observada em dois países tradicionais produtores na América Latina; Argentina com 36,20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e o Chile com 35,65 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (FAO, 2019).

Essa baixa produtividade pode ser atribuída, em parte, a problemas de polinização (SEZERINO; ORTH, 2015) e à falta de compatibilidade do porta enxerto com a copa e vigor (PASA et al., 2010, 2011, 2015). Contudo, ela pode também estar associada aos seguintes fatores: seleção de porta-enxertos com baixa eficiência de absorção de nutrientes; fornecimento de doses inadequadas de nutrientes; escassez de níveis críticos adequados de nutrientes no solo ou no tecido, como de P e K; fornecimento de fontes de nutrientes de mineralização rápida, o que diminui o sincronismo com a absorção do nutriente pelas plantas; e a contribuição de N derivado da decomposição de resíduos de espécies de plantas de cobertura à pereira.

2.2. Parâmetros cinéticos relacionados à absorção de nutrientes

Os programas de melhoramento para pereira no mundo utilizam cerca de 20 espécies provenientes da Europa e Ásia, sendo utilizadas como cultivares copa a *Pyrus communis* (européia), *Pyrus pirifolia* (japonesas) e *Pyrus bretschneideri* (chinesas) (JANICK, 2002). No Brasil, o mercado consumidor possui um maior apelo por cultivares européias, principalmente a ‘Rocha’, que possui em Portugal, Itália e Países Baixos os maiores produtores dessa cultivar (FAO, 2019).

No Sul do Brasil, os porta enxertos mais utilizados são o *Pyrus callieriana*, que produzem plantas com alto vigor mas com uma maior longevidade produtiva (PASA et al., 2010); e os marmelos (*Cynodon* sp) que possuem menor porte e vigor, permitem plantios mais adensados, menores problemas com sombreamento e excesso de ramos (PASA et al., 2011, 2015), mas podem apresentar problemas de rejeição de enxertia e uma menor longevidade produtiva. Uma ferramenta que pode auxiliar na seleção dos germoplasmas seria adotar estudos sobre os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes por pereiras adaptadas a diferentes condições de fertilidade do solo, como um complemento no processo de melhoramento (BATISTA et al., 2016; LIMA; NEVES; LEITE, 2005).

Os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes são representados pela velocidade máxima de absorção (V_{max}), pela constante de Michaelis-Menten (K_m), pela concentração mínima (C_{min}) e pelo influxo (I); os quais permitem predizer a maior ou menor capacidade de absorção de íons pelas plantas em uma dada concentração no meio. O valor de V_{max} refere-se à quantidade do nutriente absorvida quando todos os sítios dos carregadores presentes nas membranas das células das raízes estiverem saturados; o K_m indica a concentração de nutriente/íon em solução na qual é atingida a metade da velocidade máxima de absorção, sendo que, quanto menor o seu valor, maior a afinidade do íon com os sítios de absorção; o C_{min} corresponde à concentração mínima na qual as raízes podem extrair um nutriente a partir da solução e o influxo (I) equivale à quantidade de nutriente absorvido por unidade de massa de raiz, por unidade de tempo (CLAASSEN; BARBER, 1974; MARSCHNER, 2012). Assim, a cultivar ideal seria aquela que tivesse o menor valor de K_m e C_{min} , e os maiores V_{max} e I (BATISTA et al., 2016; HORN et al., 2006; ROCHA et al., 2014).

Os parâmetros cinéticos podem ser avaliados através de metodologia proposta por (CLAASSEN; BARBER, 1974), que é

amplamente utilizada em plantas anuais (ALVES et al., 2016; HORN et al., 2006; ROCHA et al., 2014). As raízes das plantas selecionadas para o estudo de cinética de absorção são lavadas em água corrente para logo depois, serem imersas em um solução nutritiva de Hoagland a 50% (HOAGLAND; ARNON, 1950) por 21 dias (fase de aclimatização).

Após este período é realizada a marcha de depleção dos nutrientes, em que as plantas são adicionadas em uma solução de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ de sulfato de cálcio (CaSO_4) por 30 dias para elevar a capacidade de absorção de nutrientes. O período de 30 dias é denominado de “fome” e tem por objetivo promover a depleção interna do teor de nutriente(s) a ser(em) estudado(s). A solução de CaSO_4 é utilizada em culturas perenes para manter a integridade das raízes, uma vez que o cálcio é importante para manutenção da parede celular e impede que as raízes se soltem da planta.

Após os 30 dias em solução de CaSO_4 as plantas permanecem por 1 hora em uma solução de Hoagland de 100%, para que o sistema atinja as condições de estágio estacionário de absorção. São então transferidas para uma nova solução de depleção contendo 50% da solução de Hoagland, onde será determinado o C_{\min} . Porém, essa metodologia precisa ser adaptada para estudos com frutíferas, já que essas plantas possuem maior quantidade de nutrientes no interior de seus órgãos de reserva, comparativamente às culturas anuais (BATISTA et al., 2016; BRUNETTO et al., 2007; ROMBOLÀ et al., 2012). Um exemplo dessa comparação é o estudo das plantas jovens de milho, proposto por (CLAASSEN; BARBER, 1974), em que o período do experimento foi de apenas 19 dias.

Existem evidências que os parâmetros cinéticos relacionados à absorção de nutrientes sejam diferentes para o mesmo porta enxerto da dentro de um mesmo programa de melhoramento. A obtenção desses resultados facilitarão a escolha de porta enxertos que se adaptem a solos com maiores teores de nutrientes ou mesmo que necessitam a aplicação de maiores doses de nutrientes, podendo reduzir o custo com a aquisição de fertilizantes e as perdas de nutrientes para mananciais hídricos.

2.3. Contribuição de N derivado da decomposição de resíduo de plantas de cobertura do solo para frutíferas

O Planalto Sul Catarinense possui as maiores áreas de cultivo com pereira dentre os três estados da região Sul do Brasil. Do total de 408 ha de pereiras colhidos por safra, 252 ha estão localizados nas

idades de Bom Retiro e São Joaquim, que são os dois principais municípios produtores da região (EPAGRI, 2018; FAO, 2019).

Comumente, os pomares nessa região são instalados em relevos suave ondulado a ondulado e, por isso é necessária a manutenção de plantas de cobertura nas linhas e entrelinhas do pomar, o que reduz o impacto da gota da chuva sobre o solo, reduzindo a erosão hídrica e aumentando o armazenamento de água no solo (GOBBI et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016a; SOLARI; JOHNSON; DEJONG, 2006; TERAVEST et al., 2010).

As plantas de cobertura promovem uma grande diversidade, quantidade e proporção de resíduos da parte aérea que, aos serem depositados na superfície do solo promovem a ciclagem de nutrientes (DONEDA et al., 2012; LIPECKI; BERBEĆ, 1997; MEAGHER; MEYER, 1990; SCHEFFER; AERTS, 2000). O manejo das plantas de cobertura nas linhas e entrelinhas do pomar podem ser roçadas ao longo do ciclo da pereira ou dessecadas com herbicidas sistêmicos (ATUCHA; MERWIN; BROWN, 2011; OLIVEIRA et al., 2016a).

Os resíduos depois de roçados, sofrem a ação fragmentadora de organismos e de agentes físicos no solo, aumentando a ação da biomassa microbiana, já que sua área superficial e de contato com o solo é ampliada (BMS) (MONTANARO et al., 2017; TAGESSON et al., 2015). Parte do carbono (C) orgânico dos resíduos serve de fonte de energia aos microrganismos, como fungos e bactérias, que podem retornar para a atmosfera na forma de CO₂ (GÓMEZ-MUÑOZ et al., 2014; NYAKATAWA; REDDY; SISTANI, 2001; SCHEFFER; AERTS, 2000; TOSELLI, 2010). Parte do N nos resíduos são mineralizados incrementando o teor de suas formas no solo, como o amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) (BRUNETTO et al., 2018; CHRISTOU; AVRAMIDES; JONES, 2006; PII et al., 2014; ZHANG et al., 2015).

Tais formas de N podem também ser absorvidas pelas raízes das pereiras, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, especialmente em estágios fenológicos de maior emissão de raízes jovens. Esse possível aumento da absorção de N pode contribuir para o crescimento de órgãos da parte aérea, o que pode diminuir a necessidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados e, por consequência, o custo de produção (MARTINEZ et al., 2015; PII et al., 2014; PLAZA-BONILLA et al., 2015).

No entanto, a decomposição e mineralização de N de resíduos de plantas de coberturas é dependente de características bioquímicas dos resíduos, especialmente dos valores de celulose, hemicelulose e lignina,

(ABRISQUETA et al., 2008; MEIER et al., 2006; ROCCUZZO et al., 2017; SÁNCHEZ, 2009) das relações celulose/lignina, lignina/N e C/N (SÁNCHEZ, 2009; TRINSOUTROT et al., 2000). Assim, por exemplo, se pode semear nos pomares plantas pertencentes à família da Poaceae, como a aveia (*Avena sativa*) e o centeio (*Secale cereale*), que normalmente possuam baixos teores de N, alta relação C/N, baixos teores de celulose e hemicelulose, mas altos teores de lignina (AITA; GIACOMINI, 2006; REDIN et al., 2014a, 2014c) e, por isso, se espera lenta decomposição e mineralização de N (BRUNETTO et al., 2014b; FERREIRA et al., 2014; GIONGO et al., 2011).

Isso pode ser desejado, porque o incremento de nutrientes no solo de formas de N, poderá acontecer de maneira mais lenta ao longo de estágios fenológicos que demandam maior quantidade de nutrientes (BRUNETTO et al., 2007; GÓMEZ-MUÑOZ et al., 2014). As condições ambientais como a umidade e pH do solo também podem influenciar nas quantidades de N absorvidas e distribuídas para as plantas (BERG; MCCLAUGHERTY, 2008; MEAGHER; MEYER, 1990).

Para estimar a contribuição de N para a pereira derivado da decomposição de resíduos de espécies de plantas de cobertura, as mesmas podem ser enriquecidas com isótopos de ^{15}N em condições controladas (NETO et al., 2007; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009). Este isótopo não é radioativo, presente na natureza em concentração de 0,3663%, sendo a concentração majoritária do isótopo de ^{14}N de 99,6337%. As espécies de plantas a serem marcadas com ^{15}N , geralmente são cultivadas em solo com baixo teor de matéria orgânica ou em areia, onde uma solução nutritiva com macronutrientes e micronutrientes é adicionada para suprir a demanda de N (BRUNETTO et al., 2014a; NETO et al., 2008, 2011; ROCCUZZO et al., 2017).

Para a realização desse procedimento, o cultivo das plantas ocorre em ambiente protegido, onde normalmente o solo é acondicionado em vasos para diminuir a transferência de ^{15}N por percolação. A fonte de N mineral (ureia, nitrato de amônio, sulfato de amônio, etc.) enriquecida com átomos de ^{15}N é aplicada parceladamente, durante o crescimento das plantas. Esta que deve possuir uma quantidade de átomos de ^{15}N em excesso, suficiente para enriquecer o tecido vegetal com no mínimo 2% (NETO et al., 2007). Isso porque, os átomos de ^{15}N contidos em fontes orgânicas, como os resíduos vegetais, quando usados em experimentos a campo podem ser diluídos mais que cinco vezes com o N natural do solo, pois em geral, a mineralização dos compostos orgânicos é lenta (TRIVELIN et al., 1994).

Os resíduos enriquecidos com ^{15}N são depositados no pomar, geralmente próximo às frutíferas e ao longo de seu ciclo, e conforme o objetivo, os órgãos das plantas são coletados (ex. folhas). Em seguida, as frutíferas podem ser arrancadas e fracionadas em órgãos, e as amostras de solos podem ser coletadas na região que recebeu a aplicação do resíduos enriquecidos com ^{15}N (BRUNETTO et al., 2014a; NETO et al., 2007; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; ROCCUZZO et al., 2017). As amostras de tecido ou solo podem ser preparadas e submetidas à análise do teor total de ^{15}N e N, por espectrometria de massa (ISMAILI; ISMAILI; IBIJBIJEN, 2015; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009).

Com os resultados obtidos calcula-se a % de átomos de ^{15}N em excesso na amostra (Equação 1), o N derivado dos resíduos (Ndfr) (Equação 2, 3) e o N derivado do solo (Ndfs) (Equação 4) nas diferentes partes das plantas (BRUNETTO et al., 2014b).

$$\text{Átomos } ^{15}\text{N excessos na amostra} = \% \text{ átomos } ^{15}\text{N na amostra} - 0,3663\% \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Ndfr (\%)} = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N excessos na amostra} \times 100}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N excessos no resíduo}} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Ndfr (mg)} = \frac{\text{N total (mg)} \times \% \text{ átomos } ^{15}\text{N excessos na amostra}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N excessos no resíduo}} \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Ndfs (mg)} = \text{N total (mg)} - \text{Ndfr (mg)} \quad \text{Equação 4}$$

Os resíduos de plantas marcados com ^{15}N têm sido usados com frequência em estudos de decomposição e mineralização em culturas anuais (CHAVES et al., 2008; PEOPLES et al., 2015), porém no Brasil estudos em espécies frutíferas são escassos.

2.4. Resposta de pereiras à adubação e estabelecimento de níveis críticos de nutrientes

A fruticultura de clima temperado representa uma atividade de alto custo por área, o que torna a tomada de decisão sobre as práticas de manejo em pomares, como a adubação, essencial para o adequado crescimento, desenvolvimento, produtividade e composição de frutos (BOTELHO et al., 2010; BRUNETTO et al., 2015b; FACHINELLO et al., 2011; SORRENTI et al., 2017). A calagem e a adubação têm

impacto positivo no cultivo de fruteiras, já que os solos em sua grande maioria, são ácidos e possuem baixos teores de nutrientes. Assim, torna-se necessário em experimentos de média e longa duração, a definição das melhores doses de nutrientes a serem aplicadas em pomares, assim como os teores de nutrientes no solo e suas fontes (BRUNETTO et al., 2015a; KAMINSKI et al., 2010; MONTES et al., 2016).

Antes da instalação dos pomares, amostras de solo são coletadas, preparadas e submetidas a análise química. Com os dados obtidos é possível definir a necessidade e doses de nutrientes que devem ser aplicados, bem como medidas de correção da acidez do solo (CQFS-RS/SC, 2016). Dessa forma, espera-se corrigir as deficiências e excessos de elementos, como o Al, como também elevar os teores de nutrientes, até o mínimo nível crítico estabelecido para os grupos de culturas. Após o transplante das mudas, até o início da produção de frutos, ocorre quando identificada a necessidade, a aplicação de fontes de nutrientes, especialmente para suprir a demanda de N. A adubação de crescimento em fruteiras tem como objetivo estimular o crescimento das raízes e da parte aérea das frutíferas e, após o início da produção de frutos, é realizada a adubação de produção ou manutenção (BRUNETTO et al., 2015b; CUQUEL et al., 2011; MONTES et al., 2016).

A recomendação oficial para a cultura da pereira sugere a definição da necessidade e dose de N com base no teor de matéria orgânica do solo, já as de P e K, são com base nos teores do nutriente em folhas e produtividade esperada (CQFS-RS/SC, 2016). A dose de nutrientes recomendada é então aplicada parceladamente sobre a superfície do solo, sem incorporação para evitar danos físicos ao sistema radicular e, para diminuir a probabilidade de incidência de doenças (BOTELHO et al., 2010; BRUNETTO et al., 2015b). Porém, as informações contidas nos sistemas de recomendação oficiais de adubação são bastantes generalistas, contendo informações simples para as mais diferentes cultivares, tipos de solo, condições climáticas, etc. Por isso, a realização de experimentos de calibração regionais, torna-se sempre que possível, indispensável. Nestes casos, doses crescentes de nutrientes são aplicadas, em solos de pomares com pequeno histórico de adubação ou com baixo teores de nutrientes. As folhas são coletadas ao longo do ciclo da cultura, em geral, em estágios fenológicos pré-estabelecidos pelos sistemas de recomendação, para serem posteriormente submetidas a análise química.

Amostras de solo são coletadas em camadas diagnóstico, preparadas e submetidas à análise química de nutrientes, como P e K. Os valores das variáveis obtidas nas plantas são relacionadas com a dose

de nutrientes aplicada no solo ou com o seu teor em folhas, afim de definir a melhor dose de N a ser aplicada (BRUNETTO et al., 2015b, 2016a). Por outro lado, para P e K é mais comum a relação das variáveis de produtividade com os teores dos dois nutrientes no solo ou em folhas (BRUNETTO et al., 2015b; KAMINSKI et al., 2007; PICCIN et al., 2017a; RUBIO-COVARRUBIAS et al., 2009), que pode permitir o estabelecimento dos níveis críticos de P e K no solo. O nível crítico é definido a partir do qual a probabilidade de resposta das frutíferas à aplicação de nutrientes é pequeno ou nulo (BRUNETTO et al., 2015a).

Vários são os modelos matemáticos sugeridos para o estabelecimento do nível crítico de nutrientes em folhas ou solo (VIEIRA et al., 2013), mas comumente é utilizado o modelo matemático sugerido do Misterlich (SCHEEREN et al., 2002), onde $\hat{y}=a(1-b^x)$; onde \hat{y} representa o rendimento relativo (rr), a e b são constantes, e x é o teor do nutriente no solo ou na folha completa. Os valores obtidos em experimentos de calibração poderão no futuro contribuir na melhoria das recomendações oficiais da cultura da pereira.

Para definir as melhores doses de nutrientes a serem aplicadas na adubação de manutenção de pomares é adequado definir as melhores fontes de nutrientes (BALDI et al., 2010a; BRUNETTO et al., 2005; KAMINSKI et al., 2010; TONITTO; DAVID; DRINKWATER, 2006; TOSELLI, 2010), em especial os fertilizantes nitrogenados porque são facilmente perdidos para o ambiente podendo causar contaminação (CARRANCA; BRUNETTO; TAGLIAVINI, 2018). O fertilizante nitrogenado mais utilizado em pomares é a ureia porque possui menor custo por unidade de N e, pela sua facilidade em aquisição e aplicação (Tagliavini et al., 1998; Rufat et al., 2011). A ureia é aplicada sobre a superfície do solo ao longo do ciclo produtivo da pereira e sem incorporação (CQFS-RS/SC, 2016). O N na forma de ureia, após ter contato com a superfície do solo é rapidamente hidrolisada por enzimas extracelulares que são produzidas por microrganismos do solo (Mattos Junior et al., 2003), formando carbonato de amônio $((\text{NH}_4^+)_2\text{CO}_3)$ que não é uma forma de N estável e que se decompõe em amônia (N-NH₃), CO₂ e água (KISSEL; CABRERA; PARAMASIVAM, 2008; RODRIGUES et al., 2012). Assim, parte do N aplicado no solo poderá ser perdido, fazendo-se necessário o uso de fontes alternativas de N, como o composto orgânico e a cama de peru.

Os dejetos de animais possuem N junto com outros macro e micro nutrientes em sua composição; no entanto suas concentrações são baixas, o que implica em aplicações de maiores doses quando comparadas a fertilizantes de síntese química (BALDI et al., 2010a;

CARRANCA; BRUNETTO; TAGLIAVINI, 2018; CLOUGH et al., 2013; TOSELLI, 2010). Uma parte desses nutrientes estão na forma de compostos orgânicos que necessitam ser mineralizados no solo para serem disponibilizados às plantas (HARGREAVES; ADL; WARMAN, 2008; MONTANARO et al., 2017). Com a adição dessas fontes orgânicas na superfície do solo, espera-se uma menor taxa de mineralização de N minimizando a sua transferência para a atmosfera, e na solução escoada e por lixiviação (BALDI et al., 2010a, 2010b; TOSELLI, 2010). Além disso, espera-se que ocorra um aumento do sincronismo entre a liberação de N e a absorção pela planta (CLOUGH et al., 2013).

Com base nos argumentos citados, verifica-se uma real necessidade de definir em experimentos de calibração à campo, de média e longa duração, as doses mais adequadas de N, P e K e os níveis críticos de N, P e K no tecido, e P e K no solo, em pomares de pereira. Como também, as fontes mais adequadas de nutrientes que possam ser aplicadas para promover estado nutricional mais adequado as pereiras, assim como proporcionar produtividades satisfatórias pelo mercado consumidor, com frutos da composição desejada.

3. HIPÓTESES

- i) Acessos de porta enxerto de pereira possuem diferentes parâmetros cinéticos (V_{\max} , K_m , C_{\min} e I) envolvidos na absorção de NO_3^- e NH_4^+ .
- (ii) Pereiras em produção recuperam pequena quantidade do N derivado da decomposição de resíduos de plantas de cobertura do solo, sendo a maior quantidade desse N acumuladas em órgãos anuais;
- (iii) Pereiras adultas em produção respondem à aplicação de doses de N, P e K, possibilitando o estabelecimento de níveis críticos desses nutrientes no tecido solo;

4. OBJETIVOS

4.1. Geral

Estabelecer as melhores estratégias para aumentar o aproveitamento de nutrientes pelas pereiras (*Pyrus communis* L.) cultivadas na região Sul do Brasil.

4.2. Específicos

- i) Determinar os parâmetros cinéticos relacionados à absorção de N em acessos de porta enxerto de pereira;
- ii) Quantificar a recuperação e distribuição de N derivado da decomposição de resíduos da parte aérea de aveia branca e centeio, em pereiras em produção;
- iii) Avaliar as respostas e níveis críticos de macronutrientes em pereiras em produção, submetidas à aplicação de N, P e K;

5. ESTUDOS

5.1. ESTUDO 1 “Estratégias para fornecimento de nitrogênio em pereiras”

5.1.1. *Experimento 1. Parâmetros cinéticos relacionados à eficiência de absorção de formas de nitrogênio em porta enxerto de pereira (Pyrus communis).*

5.1.1.1. Resumo

Os programas de melhoramento genético para pereiras no Brasil caracterizam-se pela seleção de cultivares de porta enxerto (hipobioto) em que são principalmente considerados os atributos fisiológicos, como vigor, horas frio, quebra de dormência, facilidade de propagação e características sanitárias como resistência a pragas e doenças. No entanto, os parâmetros cinéticos que determinam a eficiência de nutrientes, normalmente não são considerados como, por exemplo, o nitrogênio (N) nas formas de NO_3^- e NH_4^+ . O estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros cinéticos relacionados a absorção de N nos acessos de pereira ‘54’ e ‘971’ como critérios adicionais para a seleção de porta enxertos. As plantas foram aclimatadas em solução de Hoagland a 50% da força, e testadas em solução de CaSO_4 para 15 e 30 dias de esgotamento de reservas internas. O acesso ‘971’ demonstrou maior eficiência na absorção de NO_3^- e NH_4^+ porque apresentou maiores valores de V_{max} e Influxo. O tempo de esgotamento de reservas internas de N para os acessos avaliadas foi de 30 dias em solução de CaSO_4 . O período de avaliação da marcha cinética para atingir o C_{min} para os acessos ‘971’ e ‘54’ foi de 64 e 65 horas para NO_3^- respectivamente e de 65 horas para NH_4^+ . O acesso ‘971’ teve maior afinidade com o íon NO_3^- quando correlacionado com os parâmetros fisiológicos de fluorescência mínima (F_0) e de taxa de transporte de elétrons (ETR_m).

Palavras-chave: NO_3^- , NH_4^+ , seleção de porta enxertos, fluorescência da clorofila *a*.

5.1.1.2. Introdução

Os programas mundiais de melhoramento genético para pereira no mundo utilizam cerca de 20 espécies provenientes da Europa e Ásia, sendo as mais utilizadas a *Pyrus communis* (européia), *Pyrus pirifolia* (japonesas) e *Pyrus bretschneideri* (chinesas) (JANICK, 2002). No Brasil, os porta enxertos (hipobioto) mais utilizados são o *Pyrus*

calleryana e os marmelos do gênero *Cynodon* sp (MACHADO et al., 2015; PASA et al., 2011). O *P. Calleryana* é um porta enxerto muito vigoroso que produz árvores de grande porte com um excesso de crescimento vegetativo que pode resultar em um maior sombreamento e ocasionalmente sazonalidade de produção (MACHADO et al., 2015; PASA et al., 2011). Já os marmelos (*Cynodon* sp) permitem uma maior densidade de plantio por possuírem menor porte, demonstram menos problemas com sazonalidade de produção, mas podem ter um tempo menor de vida útil (PASA et al., 2010, 2011).

A produção de pereiras no Brasil ocorre em regiões subtropicais, de clima mais frio e de maior altitude, onde predominam solos de baixo pH com muita matéria orgânica, que geralmente necessitam de calagem e adubação mineral ou orgânica, para produção de frutas (BRUNETTO et al., 2015b, 2016b; NETO et al., 2008, 2011). Portanto, o estudo sobre os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes por pereiras pode ser uma alternativa para selecionar germoplasmas mais adaptados a solos com fertilidade e demandas de nutrientes distintas.

Os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes são definidos pela velocidade máxima de absorção (V_{max}), que se refere à quantidade do nutriente absorvida quando todos os sítios dos carregadores presentes nas membranas das células das raízes estão saturados; a constante de Michaelis-Menten (K_m), que indica a concentração de nutriente/íon em solução na qual é atingida a metade da velocidade máxima de absorção; a concentração mínima (C_{min}) que indica a concentração mínima na qual as raízes podem extrair nutrientes da solução; e o Influxo (I) que equivale à quantidade de nutriente absorvido por unidade de massa de raízes por unidade de tempo (MARTINEZ et al., 2015; YANG et al., 2007). Assim, cultivares com menores valores de C_{min} e K_m , e maiores valores de V_{max} e I podem se adaptar a solos com baixa disponibilidade de N nativo ou podem ser cultivadas com menores doses de N, reduzindo os custos com adubação e de aporte financeiro, bem como diminuindo o risco de contaminação ambiental, especialmente pelo nitrato (NO_3^-) (GÓMEZ-MUÑOZ et al., 2014; PII et al., 2014).

Em estudos para determinação de parâmetros cinéticos relacionados a absorção de N em culturas anuais, as plantas são aclimatadas em solução nutritiva de Hoagland a 50% da força por cerca 15 dias (HORN et al., 2006; SANES et al., 2013). Após esse período, a solução é substituída por água destilada por 24 horas, onde ocorre a redução das reservas internas de nutrientes, como as de N. Espera-se assim que a planta após o período de 24 horas possa utilizar sua plena

capacidade de absorção de nutrientes. Em seguida, as plantas são novamente aclimatadas em solução de Hoagland a 50% da força, para estabelecimento da marcha de depleção do N na solução. Para isso, alíquotas de solução são coletadas a cada uma hora durante 24 horas (CLAASSEN; BARBER, 1974). Entretanto, para a avaliação de parâmetros cinéticos com espécies frutíferas, como em cultivares de pereira, a metodologia necessita de ajustes já que as plantas podem manter maiores reservas internas de N, alocadas especialmente em órgãos perenes, como raízes e caules (DAR et al., 2015; NETO et al., 2008, 2011; RUBIO-COVARRUBIAS et al., 2009).

O estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros cinéticos de N nos acessos '54' e '971' como critérios adicionais para a seleção de porta enxertos.

5.1.1.3. Material e métodos

5.1.1.3.1. Localização e tratamentos

O estudo foi realizado em casa de vegetação (latitude 29°42'57,4''S e longitude 53°43'12,2W de Greenwich, altitude média de 115 metros), na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil. A umidade relativa média do ar na casa de vegetação foi de 60% e a temperatura média de ar foi de 25°C.

Os acessos '54' e '971' utilizadas no estudo foram provenientes de polinização aberta do banco de germoplasma da Empresa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – Unidade Embrapa Uva e Vinho, localizada em Vacaria (RS), em parceria com a Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), localizada em Lages (SC). Os acessos de porta enxertos ainda estão em processo de melhoramento genético, não disponíveis no mercado.

As mudas após a aclimatização foram cultivadas em substrato comercial por cerca de 12 meses, e os exemplares mais uniformes foram utilizadas no presente estudo. Em sequência, foram retiradas dos vasos e o sistema radicular foi cuidadosamente lavado em água corrente até a completa retirada do substrato. As plantas com raízes nuas foram acondicionadas em vasos com 5 L de capacidade, contendo solução nutritiva de Hoagland a 25% (JONES, 1983). A solução nutritiva integral de Hoagland possuía (em mg L): $N-NO_3^- = 196$, $N-NH_4^+ = 14$, $P = 31$, $K = 234$, $Ca = 160$, $Mg = 48,6$, $S = 70$, $Fe-EDTA = 5$, $Cu = 0,02$, $Zn = 0,15$, $Mn = 0,5$, $B = 0,5$ e $Mo = 0,01$, onde permaneceram por 7 dias até a conclusão da primeira etapa de aclimatização.

Os vasos então foram dispostos sobre mesas metálicas na casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, utilizando-se dez plantas de cada cultivar sendo cinco para cada tempo de esgotamento de reservas de nutrientes. Na superfície de cada vaso foi adicionada uma lâmina de isopor de 3 mm de espessura para evitar a evaporação da solução nutritiva e auxiliar na fixação das plantas. A lâmina de isopor possuía um orifício central para passagem do caule das pereiras e um segundo orifício para entrada de um tubo de polícreto de vinila (PVC); conectadas a um compressor de ar livre de óleo responsável pela aeração contínua em cada vaso (Figura 1).

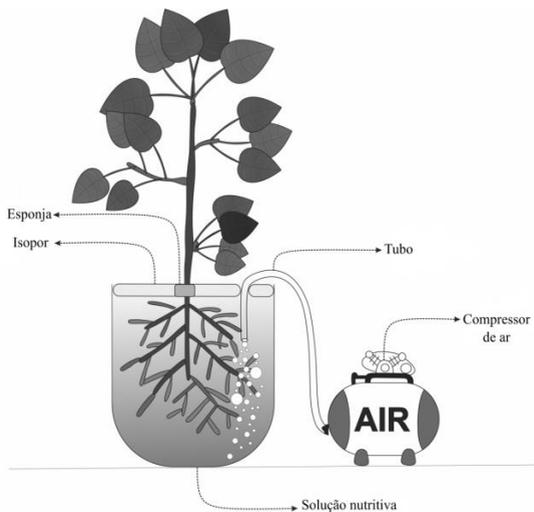


Figura 1. Esquema ilustrativo da montagem do experimento de cinética de absorção de N em pereira.

Depois de 7 dias de aclimatização das mudas de pereira em solução de Hoagland a 25% de força, a solução foi retirada dos vasos e adicionada a solução com 50% da força. Nesta solução as pereiras permaneceram mais 21 dias, concluindo assim o segundo período de aclimatização das plantas. Diariamente foi realizada a leitura de pH da solução, onde valores de pH foram mantidos entre $6,0 \pm 0,2$, através da adição quando necessária de $\text{HCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ ou $\text{NaOH } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Finalizada a aclimatização, as pereiras foram induzidas ao esgotamento de reservas internas de nutrientes em uma solução de CaSO_4 na concentração de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (PAULA et al., 2018); que forneceu

apenas Ca e S usados para manterem o potencial eletroquímico da membrana celular e preservar a integridade da parede celular.

As plantas foram separadas em dois grupos de 15 dias e 30 dias de permanência em solução de CaSO_4 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$), para avaliação de esgotamento de reservas da própria pereira. Assim, o experimento foi conduzido em delineamento experimental esquema fatorial, com dois níveis em cada fator (cultivar x tempo de esgotamento de reservas) com 5 repetições por tratamento.

5.1.1.3.2. *Florescência da clorofila a*

A fluorescência da clorofila *a* no período da noite, foi determinada com o uso de um fluorômetro modulado por amplitude de pulso (PAM) JUNIOR-PAM (Walz, Alemanha), ao último dia de cada período de avaliação aos 15 e 30 dias. A fluorescência inicial (F_0) foi determinada e a amostra da folha foi submetida a um pulso de luz saturante ($10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) por 0,6 s para determinação da fluorescência máxima (F_m).

5.1.1.3.3. *Avaliação da marcha cinética*

Após cada período de esgotamento, as plantas retornaram à solução nutritiva de Hoagland contendo 50% da concentração original. As plantas permaneceram nesta solução durante uma hora, para que o sistema atingisse as condições de estado estacionário de absorção, requerido para a aplicação do modelo cinético proposto por CLAASSEN; BARBER (1974).

A solução foi novamente substituída, contendo as mesmas concentrações de nutrientes da solução original de Hoagland a 50%, para o início do período de coleta das alíquotas da própria solução. Dez mililitros da solução de cada vaso de 5 L foram coletados no tempo zero, antes do ajuste das plantas nos vasos como solução inicial. Foram coletadas alíquotas de 10 ml a cada 6 horas nas primeiras 24 horas, a cada 3 horas entre 24 e 48 horas, e a cada uma hora entre 48 à 65 horas.

Ao término das 65 horas de avaliação, as plantas foram retiradas dos vasos e separadas em folhas, caules e raízes. A altura e diâmetro do caule foram determinados usando paquímetro digital. A matéria fresca (MF) de folhas, caule e raízes foram determinadas em uma balança digital (Bel Engineering, Balança de precisão L, Brasil). O volume de solução nutritiva remanescente em cada vaso foi mensurado com auxílio de uma proveta graduada.

5.1.1.3.4. Análises de nutrientes no tecido e solução

Os órgãos das plantas foram secos em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até manter o peso constante, para determinação da matéria seca (MS). As frações de tecido secas foram moídas, preparadas e submetidas à digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995). Para tal fim, 0,200 g de massa seca de cada fração foram adicionadas em tubo de digestão (25 × 250 mm) com 1 mL de H₂O₂, 2 mL de H₂SO₄ e 0,7 g de mistura de digestão (90,9% de Na₂SO₄ + 9,1% de CuSO₄ 5H₂O). Os tubos foram colocados e aquecidos em bloco digestor a uma temperatura de 150°C. Ao longo da digestão, a temperatura foi elevada gradativamente (50°C a cada 30 minutos), até 350°C. Depois da completa digestão do tecido, os tubos permaneceram no bloco digestor com a temperatura de 350°C por mais 60 minutos.

Após a digestão, o volume da amostra no tubo foi ajustado usando 50 mL de água destilada. Dez mililitros do extrato foi extraído e pipetado em um outro tubo de digestão com capacidade para 100 mL juntamente com a adição de 10 mL de NaOH 10 mol L⁻¹. A amostra foi então destilada com um aparelho de destilação de vapor de Kjeldahl (Tecnal TE-0364, Brasil), para a posterior coleta do extrato a um recipiente contendo 5 mL ácido bórico. O extrato foi titulado com H₂SO₄ 0,005 mol L⁻¹ padronizado para o cálculo do teor de N total (TEDESCO et al., 1995).

Os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ presentes nas amostras de solução nutritiva, coletadas durante a marcha cinética, foram determinados por espectrofotometria de absorção molecular em um analisador automático de fluxo segmentado (Skalar San⁺⁺, 1074 sampler, The Netherlands).

5.1.1.3.5. Determinação dos parâmetros cinéticos

Os parâmetros de V_{max}, C_{min} e o K_m foram calculados com o uso do software Cinetica (RUIZ et al., 1985), utilizando as concentrações de NO₃⁻ e NH₄⁺ das alíquotas coletadas em função do tempo, a massa fresca das raízes assim como os volumes de solução inicial e final nos vasos. O C_{min} foi determinado considerando a concentração de N presente na solução de depleção no tempo de 65 horas, já o Influxo líquido (IL), foi calculado de acordo com a equação 1, proposta por Michaelis-Menten e modificada por NIELSEN; BARBER (1978).

$$IL = \left[\frac{V_{max} \times (C - C_{min})}{K_m + (C - C_{min})} \right] \quad \text{Equação 1}$$

Onde: I = Taxa de Influxo de nutrientes, C= Concentração do nutriente em cada período coletado, V_{\max} = velocidade máxima de absorção, K_m = constante de Michaelis-Menten, e C_{\min} = concentração mínima.

5.1.1.3.6. Análise estatística

Os resultados obtidos dos parâmetros morfológicos e fisiológicos, foram submetidos a teste de homogeneidade e normalidade (Biostat 5.0 2008), e posteriormente, a análise de variância no ambiente estatístico R (R Core Team 2018). Quando o efeito dos tratamentos foram considerados significativos, as médias dos resultados de V_{\max} , C_{\min} , K_m e I alcançado para cada cultivar foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e a diferença de concentração de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ ao longo das 65 horas (tempo) para cada cultivar foi comparada pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada através do software CANOCO versão 4.5 (Ter Braak & Similauer, 2002), a partir da média das variáveis resposta do esgotamento nos 30 dias de avaliação em sulfato de cálcio para as variáveis de parâmetros cinéticos (V_{\max} , K_m e C_{\min}), parâmetros morfológicos (matéria seca de raízes, caule e folhas; altura, diâmetro de caule; N em folhas, caule e raízes) e parâmetros fisiológicos (fluorescência mínima – F_0 , fluorescência máxima – F_m , relação F_v/F_m e a taxa de transporte de elétrons – ETR_m).

5.1.1.4. Resultados e Discussão

5.1.1.4.1. Parâmetros morfológicos e fluorescência da clorofila a

Os acessos ‘54’ e ‘971’ apresentaram altos valores de matéria seca de raiz e de caule, com seu diâmetro sendo medido após 30 dias de esgotamento de reservas internas de nutrientes (Tabela 1), o que indica que as plantas continuaram crescendo ao longo da realização do estudo.

O acesso ‘54’ apresentou maior acúmulo de N nas raízes, aos 15 dias de esgotamento de reservas de nutrientes, quando comparada à cultivar ‘971’ (Tabela 1). Tal fato é decorrente da maior produção de matéria seca das raízes do acesso ‘971’, em que o acúmulo de N é favorecido, especialmente na forma de proteínas (MORIWAKI et al., 2019). Outro fator preponderante, é devido a produção de matéria seca nas folhas ser menor que nas raízes e caule, o que diminui a necessidade de redistribuição de formas de N de órgãos perenes para órgãos anuais em crescimento, ou seja, das raízes para as folhas (BRUNETTO et al., 2016b; HARRISON-KIRK et al., 2014; NETO et al., 2008). Os demais

parâmetros (matéria seca de folhas, altura, total de N em folhas e caule) não diferiram estatisticamente (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros morfológicos dos acessos ‘54’ e ‘971’, cultivados em solução nutritiva de Hoagland durante 15 e 30 dias após a redução de reservas internas (DRI) em solução de CaSO_4 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$)

Parâmetros morfológicos	‘54’		‘971’		P (anova)
	15 DRI	30 DRI	15 DRI	30 DRI	
Matéria seca de raiz (g)	2,44 aB ⁽¹⁾	3,99 aA	1,60 aB	3,72 aA	0,00
Matéria seca de caule (g)	3,62 aB	6,07 aA	3,46 aA	5,21 aA	0,00
Matéria seca de folhas (g)	0,94 aA	1,49 aA	1,35 aA	1,43 aA	0,00
Altura (cm)	42,93 aA	53,46 aA	49,23 aA	51,36 aA	0,00
Diâmetro de caule (cm)	0,47 aB	0,57 aA	0,43 aB	0,53 aA	0,00
N total em folhas (%)	2,59 aA	2,66 aA	2,77 aA	2,52 aA	0,00
N total no caule (%)	1,75 aA	1,79 aA	1,76 aA	1,67 aA	0,00
N total na raiz (%)	3,40 aA	3,38 aA	2,85 bA	3,33 aA	0,00

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas diferem das cultivares entre os tempos e as médias seguidas pelas letras maiúsculas diferem os tempos dentro de cada acesso utilizando o teste de Tukey ($p < 0,05\%$).

Os acessos ‘54’ e ‘971’ os maiores valores da relação Fv/Fm foram observados aos 30 dias de esgotamento de reservas interna de nutrientes (Tabela 2). Essa relação é obtida através da diferença entre os parâmetros de fluorescência máxima (Fm) e fluorescência mínima (Fo), que são lidos ao nascer do dia. A sua relação é representada de 0 a 1, e quanto mais próxima de 1, maior é a eficiência energética da planta. Assim, os resultados de fluorescência mostram que os acessos ‘54’ e ‘971’ aos 30 dias de esgotamento de reservas internas, apresentaram menor perda de energia luminosa por fluorescência e maior transferência de energia do sistema coletor de luz para o centro de reação (MASCIA et al., 2017). Quando comparado aos 15 dias de esgotamento de reserva, fica evidente que ao longo do período de esgotamento das reservas internas em solução de CaSO_4 , o processo fotossintético das cultivares não foi prejudicado.

Os valores de Fo e Fm observados nos acessos ‘54’ e ‘971’ não diferiram estatisticamente entre os tempos de esgotamento de 15 e 30

dias de diminuição das reservas internas (DRI) (Tabela 2). Porém, a cultivar '54' perdeu mais energia por fluorescência (Fo e Fm) do que a cultivar '971', o que pode ser uma característica intrínseca da cultivar com baixas concentrações de N, que é um dos mais importantes nutrientes na constituição da molécula da clorofila *a*.

Contudo, o acesso '971' apresentou as maiores taxas de transporte de elétrons (ETRm) aos 15 e 30 dias DRI (Tabela 2), evidenciando que esse acesso conseguiu absorver maior quantidade de elétrons no sistema antena da clorofila *a*. Por consequência, maior foi a energia luminosa convertida em energia fotoquímica, contribuindo mais efetivamente para a redução de NADP para NADPH. Portanto, espera-se que o acesso '971' tenha maior demanda por N e absorva maior quantidade de N, já que é capaz de converter maior energia luminosa em energia química.

Tabela 2. Parâmetros fisiológicos dos acessos '54' e '971', cultivados em solução nutritiva de Hoagland durante 15 e 30 dias após a redução de reservas interna (DRI) em solução de CaSO₄ (0,01 mol L⁻¹).

Parâmetros fisiológicos	'54'		'971'		P (anova)
	15 DRI	30 DRI	15 DRI	30 DRI	
Fluorescência mínima (Fo)	135,66 aA ⁽¹⁾	123,66 aA	129,33 aA	126,33 aA	0,00
Fluorescência máxima (Fm)	677,00 aA	732,66 aA	665,00 aA	688,00 aA	0,00
Relação Fv/Fm*	0,79 aB	0,83 aA	0,80 aB	0,83 aA	0,00
Taxa de transporte de elétrons (ETRm)	80,03bA	59,66 bB	102,16aA	85,46 aA	0,00

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas diferem das cultivares entre os tempos e as médias seguidas pelas letras maiúsculas diferem os tempos dentro de cada acessos utilizando o teste de Tukey ($p < 0,05\%$); *Relação Fv/Fm: Fv = fluorescência variável e Fm = máximo rendimento quântico do FSII (fotosistema II) (Fv/Fm).

5.1.1.4.2. Tempo de esgotamento de reservas de N

Aos 15 e 30 dias de esgotamento de reservas internas de nutrientes o acesso '971' apresentou os maiores valores de V_{\max} de absorção de NO₃⁻ em relação o acesso '54' (Figura 2). Entretanto, os valores de K_m e C_{\min} relacionados a absorção de NO₃⁻ não diferiram estatisticamente entre os acessos (Figura 2). Por outro lado, os menores valores de K_m e C_{\min} nos acessos '54' e '971' foram observados aos 30 dias DRI, mas sem apresentar diferença estatística entre os valores de V_{\max} .

Os menores valores de C_{\min} de NH_4^+ foram observados nos acessos ‘54’ e ‘971’ após 30 dias DRI, mas para os valores V_{\max} e K_m não foram observadas diferenças estatísticas para 15 e 30 DRI (Figura 3). Esses resultados mostram que depois de 15 dias DRI, os dois acessos ainda possuíam reservas internas de NH_4^+ e, por essa razão, as plantas continuaram absorvendo NH_4^+ . Os resultados de C_{\min} de NH_4^+ sugerem que os acessos ‘54’ e ‘971’ após 30 dias DRI, demonstraram maior habilidade de absorção de NH_4^+ , absorvendo mesmo em baixas concentrações em solução. Desse modo, os acessos ‘54’ e ‘971’ após 30 dias DRI expressam habilidade de acessar NH_4^+ em um maior número de sítios de absorção por unidade de raiz, em comparação aos 15 dias DRI.

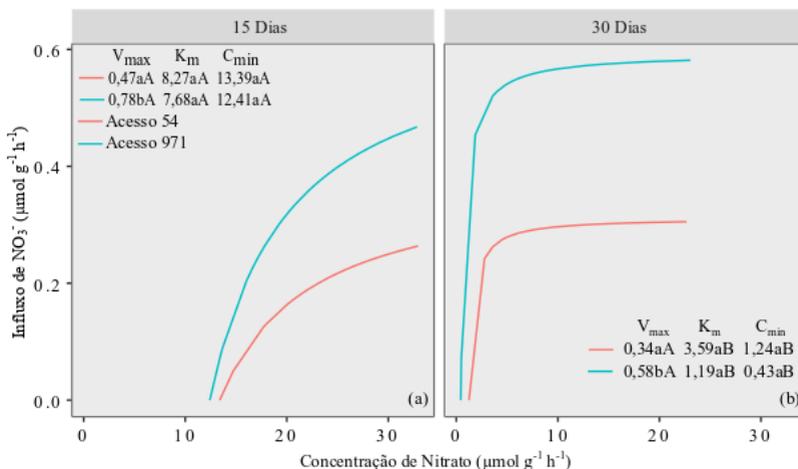


Figura 2. Taxa de Influxo, C_{\min} , K_m e V_{\max} de NO_3^- nos acessos ‘54’ e ‘971’, cultivados em solução de Hoagland após 15 (a) e 30 dias (b) de esgotamento de reservas internas de nutrientes em CaSO_4 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$). Médias seguidas por letras minúsculas diferem acessos em cada tempo e médias seguidas por tempos maiúsculas diferem os tempos dentro de cada acesso $\alpha = 0,05$ (teste de Tukey).

As taxas de Influxo de NO_3^- e NH_4^+ foram maiores no acesso ‘971’ (Figura 2; Figura 3), provavelmente por possuir maior demanda por N e, como mecanismo de adaptação, adquiriu maior quantidade de NO_3^- e NH_4^+ nos sítios de absorção das raízes (MOTA et al., 2011). Além do mais, o acesso ‘54’ apresenta parâmetros fisiológicos (relação F_v/F_m e ETR_m) que indicam uma maior perda de energia por

fluorescência, e uma menor absorção de NO_3^- e NH_4^+ . As maiores taxas de absorção de NO_3^- e NH_4^+ pelas raízes do acesso '971', não podem ser justificadas por características morfológicas, uma vez que não há diferença em conteúdos de matéria seca em nenhum dos órgãos avaliados.

No entanto, há uma diferença clara na forma como o aparato fotossintético desse acesso capta a energia luminosa, o que possivelmente, gerou uma alta demanda por N suprida pelo aumento da eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. Essa possível adaptação da acesso '971' é muito positiva, já que grande quantidade de N é requerido na fase adulta da planta, devido o aumento da exportação via fruto.

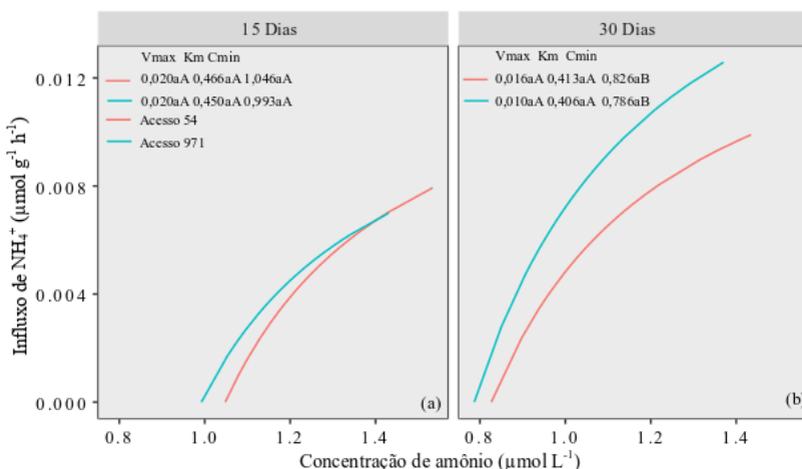


Figura 3. Taxa de Influxo, C_{\min} , K_m e V_{\max} de NH_4^+ nos acessos '54' '971', cultivados em solução de Hoagland após 15 (a) e 30 dias (b) de esgotamento das reservas internas em CaSO_4 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$). Médias seguidas por letras minúsculas diferem acessos em cada tempo e médias seguidas por letras maiúsculas diferem os tempos dentro de cada acessos $\alpha = 0,05$ (teste de Tukey).

As diminuições de absorção NO_3^- e NH_4^+ pelas raízes do acesso '54' podem estar relacionadas a diminuição na concentração ou decréscimo da atividade (taxa de transporte ou reação) de proteínas de absorção NRT1 e NRT2, pois tais proteínas são envolvidas na captação de NO_3^- , que possivelmente afetam negativamente as enzimas envolvidas na assimilação de NO_3^- e NH_4^+ (GIRI et al., 2017).

5.1.1.4.3. O melhor tempo de avaliação da marcha cinética de absorção de N

O acesso '54' absorveu NO_3^- de forma mais intensa e por mais tempo que o acesso '971', atingindo o C_{\min} ao término de seus períodos de avaliação de 64 e 65 horas respectivamente (Figura 4a b).

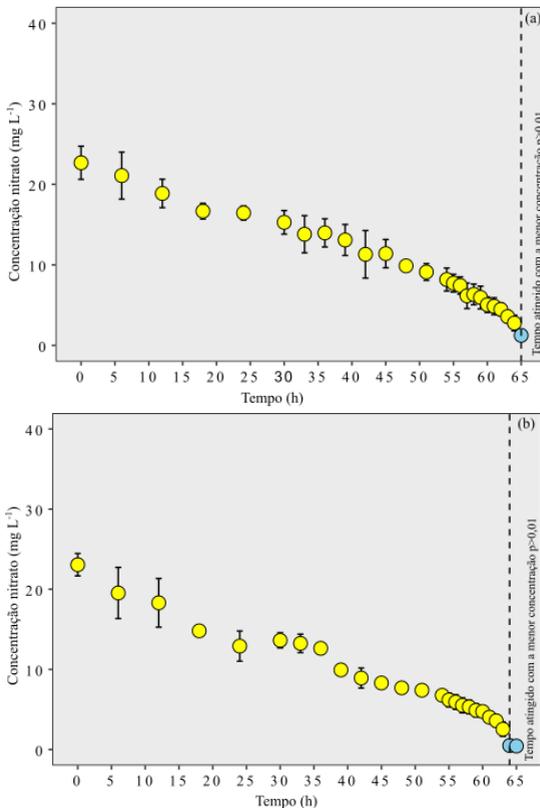


Figura 4. Concentrações de NO_3^- nos acessos '54'(a) e '971' (b), após 30 dias de esgotamento de reservas internas. Médias das concentrações de NO_3^- em azul diferem significativamente das médias das concentrações em amarelo $\alpha = 0,05$ (teste de Scott Knot).

O C_{\min} encontrado para os acessos '54' e '971' foram semelhantes, por isso indica-se que em futuros experimentos as coletas possam ser extendidas por pelo menos 70 horas (MARTINEZ et al., 2015; PAULA et al., 2018). Isso mostra que os acessos '54' e '971'

possuem características morfológicas similares, e isso proporciona mecanismos de absorção de NO_3^- semelhantes.

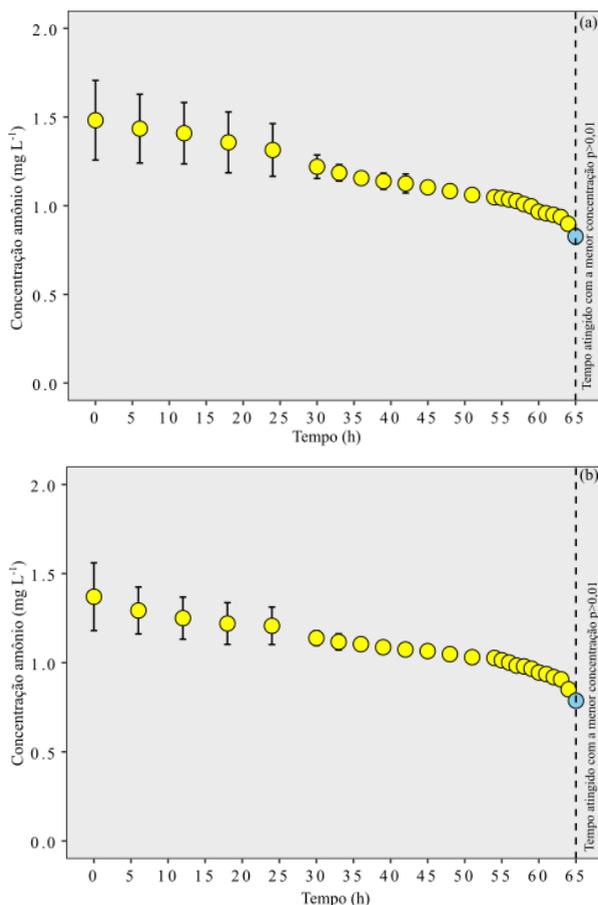


Figura 5. Concentrações de NH_4^+ nos acessos '54'(a) e '971' (b), após 30 dias de esgotamento de reservas internas. Médias das concentrações de NO_3^- em azul diferem significativamente das médias das concentrações em amarelo $\alpha = 0,05$ (teste de Scott Knot).

Os acessos atingiram o C_{\min} para NH_4^+ após 65 horas do início de condução do experimento, exibindo o mesmo tempo de esgotamento (Figura 5 ab). Os resultados do parâmetro C_{\min} obtidos com frutíferas difere dos estudos realizados com culturas anuais, onde o tempo de coleta preconizado pode ser menor que 15 horas e com intervalos de

horas menores entre cada coleta (HORN et al., 2006; SANES et al., 2013).

O mesmo tempo de esgotamento para os dois acessos, pode ocorrer quando a absorção de NH_4^+ é realizada por vários transportadores de NH_4^+ expressos simultaneamente (MOTA et al., 2011). Há pelo menos cinco transportadores de NH_4^+ pertencentes a subfamília AMT1 (*CoAMT_1* a *CoAMT1_5*), expressos nas raízes de pereira durante o ciclo vegetativo, e que podem participar da absorção de NH_4^+ (ALVES et al., 2016; MOTA et al., 2011). Os resultados apresentados por estes autores (BATISTA et al., 2016; MOTA et al., 2011; PAULA et al., 2018; PII et al., 2014; TOMASI et al., 2015) reforçam o entendimento de que a absorção de formas de N em espécies perenes é bem diferente de plantas anuais; e que o conhecimento dos parâmetros cinéticos de absorção de formas de N podem contribuir para um melhor entendimento da adubação nitrogenada em pomares de pera.

Em estudos anteriores realizados por PAULA et al. (2018), avaliou-se os parâmetros cinéticos relacionados a absorção de N em porta enxertos (hipobioto) de pessegueiros Tsukuba 1, Aldrigh e Clone 15. Tanto para os pessegueiros do estudo anterior, como nas seleções '54' e '971' do atual estudo, o melhor tempo de esgotamento de reservas internas de N para ambos foi aos 30 dias em solução de CaSO_4 .

5.1.1.4.4. *Análise de componentes principais (ACP)*

A análise de componentes principais (ACP) dos acessos '54' e '971' explicou 57,42% da variabilidade dos dados (Figura 6). O primeiro componente (PC1) explicou 35,28% da variação dos dados e mostrou a diferença do parâmetro cinético de absorção V_{\max} do NO_3^- , que possui uma correlação inversa com os parâmetros C_{\min} e K_m . Pelo maior influxo do acesso '971' (Figura 2 b), fica evidente sua afinidade pelo NO_3^- , e sua alta correspondência com parâmetro fisiológico ETR_m , que possui correlação inversa a concentração de N no caule. Contudo, o acesso '971' aproveitou maior quantidade de N absorvida em processos fotossintéticos, não acumulando de N em órgãos reservas (ex.caule) por ser fluxo de passagem, o que normalmente é esperado em frutíferas (BRUNETTO et al., 2016b).

Os maiores valores de ETR_m e sua alta correlação no acesso '971', demonstra uma maior demanda de nutrientes de N pela planta, evidenciado pelos maiores Influxos de NO_3^- e NH_4^+ nos dois períodos de esgotamento de reservas internas (Figura 2; Figura 3). Isso mostra que uma maior quantidade de energia foi aproveitada pelo acesso '971' e, conseqüentemente, mais energia foi absorvida e utilizada em

processos fotoquímicos da fotossíntese. Além do mais, o acesso ‘971’ apresentou um agrupamento dos resultados de K_m de NH_4^+ e N nas raízes ainda no componente 1, correlacionando-se inversamente com a fluorescência mínima (F_o), o que explica a maior demanda de nutrientes pelo acesso. Possivelmente, a planta entrou em estresse pela demanda inicial de nutrientes no início da marcha cinética, e armazenou mais N nas suas raízes devido a características genéticas, o que evidencia maior afinidade com o íon NO_3^- . O segundo componente (PC2) explicou 22,14% da variabilidade dos dados, com variabilidade dos parâmetros cinéticos K_m e C_{min} de NO_3^- correlacionado com o V_{max} de NO_3^- .

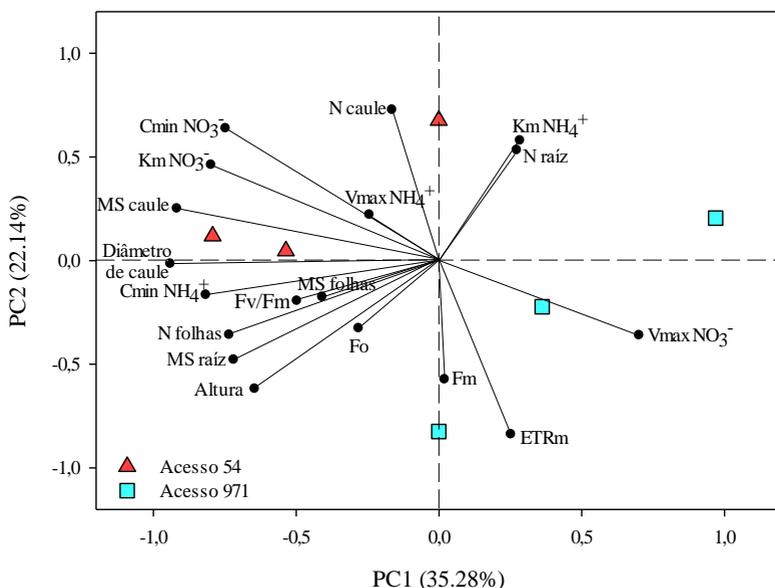


Figura 6. Relação entre componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) para as variáveis de parâmetros cinéticos (V_{max} , K_m e C_{min}), parâmetros morfológicos (matéria seca de raízes, caule e folhas; altura, diâmetro de caule; N em folhas, caule e raízes) e parâmetros fisiológicos (fluorescência mínima – F_o , fluorescência máxima – F_m , relação F_v/F_m e a taxa de transporte de elétrons - ETR_m).

Os dados de Influxo de NO_3^- do acesso ‘54’, apresentou menores valores de V_{max} , demonstrando um comportamento inverso ao do acesso ‘971’. O componente 2 também agrupou dados morfológicos

como a matéria seca de caule, diâmetro de caule, C_{\min} do NH_4^+ , N em folhas, matéria seca de raízes, altura e o parâmetro fisiológico de fluorescência mínima (F_o); e correlação inversa com K_m do NH_4^+ e N em raízes. Tais fatores indicam que do acesso '54' assimilou N nas folhas, mostrando uma maior proporção dos centros de reação aberta e, possivelmente, maiores valores de concentração de clorofila nas folhas (TIECHER et al., 2016, 2017). A maior assimilação de N pela do acesso '54', gerou uma maior produção de matéria seca de raízes, proporcionando melhores condições de absorção de NO_3^- e NH_4^+ .

5.1.1.5. Conclusões

O acesso '971' demonstrou maior eficiência na absorção de NO_3^- e NH_4^+ , pois apresentou maiores valores de V_{\max} e Influxo para NO_3^- e NH_4^+ . O tempo de esgotamento de reservas internas de N para ambos acessos avaliados, foi de 30 dias em solução de CaSO_4 . O período de avaliação da marcha cinética para atingir o C_{\min} para os acessos '971' e '54' foi de 64 e 65 horas para NO_3^- respectivamente e de 65 horas para NH_4^+ . O acesso '971' teve maior afinidade com o íon NO_3^- quando correlacionada com os parâmetros fisiológicos de fluorescência mínima (F_o) e de taxa de transporte de elétrons (ETRM).

5.1.2. Experimento 2. Contribuição de N derivado da decomposição da parte aérea de aveia branca (*Avena sativa*) e centeio (*Secale cereale*) para a nutrição de pereiras 'Rocha' (*Pyrus communis*)

5.1.2.1. Resumo

O nitrogênio (N) proveniente de resíduos de plantas de cobertura em decomposição sobre a superfície do solo pode contribuir para a nutrição de pereiras em produção. O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição e aproveitamento do N derivado da decomposição de resíduos de aveia branca e centeio em pomares de pereira. Os resíduos da parte aérea de aveia branca (*Avena sativa*) e centeio (*Secale cereale*) enriquecidos com de átomos de ^{15}N foram depositados na superfície do solo na projeção da copa de pereiras no início da brotação. As folhas foram coletadas mensalmente até a colheita das peras, em que as pereiras foram fracionadas em folhas, ramo do ano, ramo de ano, caule e raízes. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m. O N total e ^{15}N foram analisados em todas as amostras coletadas, assim como os átomos em excesso (% átomos ^{15}N), o N derivado do resíduo (Ndfr) e o N derivado do solo (Ndfs). As pereiras absorveram quantidades iguais de Ndfr de aveia branca e centeio, já as quantidades de Ndfr em órgãos anuais e perenes foram pequenas. As maiores quantidades de N presentes nas pereiras foram derivadas de outras fontes de N que não do Ndfr de aveia branca e centeio. Assim, o N derivado dos resíduos de aveia branca e centeio, pouco contribuiu para a nutrição da pereira, no mesmo ciclo de deposição dos resíduos sobre a superfície do solo.

Palavras chaves: absorção de N, distribuição de N, isótopos de ^{15}N .

5.1.2.2. Introdução

Os solos normalmente não disponibilizam a quantidade de nitrogênio (N) necessária para suprir a demanda das pereiras (*Pyrus communis*). Por isso, é necessária a aplicação de fertilizantes nitrogenados em adubações de pré-plantio, crescimento e produção. As doses de N a serem aplicadas nas adubações nitrogenadas para a pereira podem ser estabelecidas considerando o teor de matéria orgânica do solo, os teores de formas de N mineral no solo, a análise de N em folhas e a expectativa de produção (CONNOR et al., 2014; DEMESTIHAS et al., 2019; MORUGÁN-CORONADO et al., 2019). Contudo, apenas uma pequena quantidade do N derivado do fertilizante é absorvido pelas frutíferas, uma vez que as plantas podem acumular reservas em órgãos

perenes (BRUNETTO et al., 2016b; NETO et al., 2011). Outro fator a ser considerado, é que do total de N aplicado no solo, parte pode ter sido perdida por volatilização (CLOUGH et al., 2013), lixiviação (GOBBI et al., 2011; NETO et al., 2007), escoamento superficial (GOBBI et al., 2011), ou porque as doses e épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado, não foram adequadas (NETO et al., 2008; ZHANG et al., 2012).

Uma alternativa para aumentar o conteúdo de N no solo e proteger a superfície do solo contra a erosão hídrica, é o emprego de plantas de cobertura, como a aveia branca (*Avena sativa*) e o centeio (*Secale cereale*) (BRUNETTO et al., 2014a; FERREIRA et al., 2014; WYLAND et al., 1996). As pereiras podem então, absorver o N derivado da decomposição das plantas de cobertura, favorecendo a ciclagem de nutrientes e aumentando o conteúdo de N mineral no solo, principalmente na forma de NO_3^- e NH_4^+ (KRAMER et al., 2002; MORUGÁN-CORONADO et al., 2019; TONITTO; DAVID; DRINKWATER, 2006).

Após a deposição dos resíduos das plantas de cobertura sobre a superfície do solo, a população microbiana libera enzimas extracelulares que degradam moléculas orgânicas complexas, como a celulose que através das celulasas a transformam em glicose, que podem contribuir junto a outros fatores, para a mineralização do tecido e liberação de nutrientes, como o N, para o solo (ALVAREZ; STEINBACH; DE PAEPE, 2017; NOVARA et al., 2019).

A velocidade de mineralização do tecido e liberação de nutrientes pode ser diferente entre as espécies, porque há diferenças entre os valores da relação C/N, teores de celulose, hemicelulose e lignina (REDIN et al., 2014c, 2014b). Parte do N derivado da decomposição de espécies de plantas de cobertura, que é absorvido pela pereira, poderá ser incorporado em estruturas carbonadas, tais como arginina, citrulina e ornitina. O N absorvido poderá ser incorporado ou ser transportado em formas minerais, como NO_3^- e NH_4^+ para órgãos em crescimento, como folhas, ramos do ano e frutos, que normalmente são drenos de N (VENTURA et al., 2010; ZHANG et al., 2015). O N poderá ainda permanecer em órgãos perenes, como ramos de mais de um ano, caule e raízes (TERAVEST et al., 2010; ZHANG et al., 2015). Caso isso aconteça, maior será a quantidade de reservas de N no interior da frutífera, por consequência, menor será a dependência das pereiras por outros fontes de N (NETO et al., 2008; TAGLIAVINI et al., 2007; ZHANG et al., 2012).

A utilização da técnica de isótopos de ^{15}N permite a identificação do destino do N derivado de resíduos de plantas de cobertura em decomposição e a sua redistribuição para os diferentes órgãos (raíz, caule, folha, ramos e frutos) da pereira (BRUNETTO et al., 2011, 2014a; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; PÉREZ-ÁLVAREZ et al., 2015).

A hipótese do presente estudo é que as pereiras em produção absorvem quantidades pequenas e similares de N derivado de aveia preta e centeio, quando os mesmos possuem características químicas similares, sendo a maior parte do N presente nas pereiras derivado de outras fontes que não a dos resíduos. O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição e aproveitamento do N derivado da decomposição de resíduos de aveia branca e centeio em pereira 'Rocha'.

5.1.2.3. Material e métodos

5.1.2.3.1. Cultivo das plantas de cobertura

As plantas de cobertura de aveia branca (*Avena sativa*) e centeio (*Secale cereale*) marcadas com ^{15}N foram cultivadas em casa de vegetação em solo Neossolo quartzarênico (SANTOS, 2013), Typic quartzipsamments (SOIL SURVEY STAFF, 2014). O Nesossolo quartzarênico foi coletado na camada de 0.0-0.20 m em uma área com histórico de cultivo de milho e com correção de calagem e adubação. O solo foi seco ao ar, passado em peneira com malha de 2 mm, submetido a análise física e química, apresentando as seguintes características: 102 g kg⁻¹ argila (método pipeta, EMBRAPA, 1997), 17,8 g kg⁻¹ matéria orgânica (método Walkley-Black), pH em água 5,8 (relação 1:1); Ca 4,20, Mg 1,0 e Al 0,0 cmolc dm⁻³ trocáveis (extraídos por KCl 1 mol l⁻¹); P e K disponíveis 53,8 e 38,4 mg dm⁻³ (extraídos por Mehlich-1) e N total 3 g kg⁻¹ (método Kjeldahl).

Após o preparo do solo, 15 kg de solo seco foi adicionado em 15 bandejas de polipropileno sem orifícios de 5,4 m² (0,55 m de comprimento, 0,35 m de largura e 0,13 m de altura), para evitar a perda de solução. As sementes das plantas de cobertura foram semeadas em linha nas bandejas em maio de 2015, nas proporções de 3,25 g de sementes de aveia branca e 0,54 g sementes de centeio por m² (MONEGAT, 1991). As bandejas foram acomodadas sobre bancadas metálicas em casa de vegetação com temperatura do ar interna média de 20°C, umidade relativa de 60%, intensidade luminosa de aproximadamente 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 10 horas de luz. Diariamente as bandejas foram pesadas e quando necessário foi adicionado água para manter a capacidade de campo a 70%.

Após 10 dias da emergência da aveia branca e do centeio, iniciou-se à aplicação da solução contendo 4% átomos de ^{15}N em excesso (10 g de N m^{-2}) para a gradual absorção do ^{15}N pelas plantas. As aplicações foram realizadas no período de 10 de junho até 14 de setembro de 2015, totalizando ao final do cultivo 18 aplicações. O manejo fitossanitário e o controle mecânico das plantas espontâneas foram realizados durante o cultivo das plantas de cobertura em casa de vegetação.

A parte área da aveia branca e do centeio foram cortadas rente à superfície do solo aos 65 dias após da emergência, sendo uma parte reservada para a caracterização química e determinação das concentrações totais de N e ^{15}N , e o restante, foi armazenado para ser adicionada à campo na área de projeção da copa das pereiras. O tecido reservado das plantas de cobertura foram secos em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até atingir massa constante, sendo posteriormente moídos em moinho do tipo Willey e preparados para análise.

A determinação do carbono orgânico total (COT) foi feita por meio de combustão úmida (YEOMANS; BREMNER, 1988) e as concentrações totais de N e ^{15}N foram analisadas por espectrometria de massa (espectrômetro de massa Finnigan MAT, modelo Delta Plus, Suécia). O restante do tecido foi submetido a digestão nitroperclórica (TEDESCO et al., 1995) e no extrato foram analisados as concentrações totais de Ca e Mg, que foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica (Perkin Elmer, AAnalyst 200, Itália). O P total foi determinado conforme metodologia proposta por (MURPHY; RILEY, 1962), em espectrofotômetro de UV-visível (Pró-análise, UV 51-00, Brasil), a 662 nm e K total determinado em fotômetro de chama (Digimed, DM-62, Brasil).

5.1.2.3.2. Localização do experimento e deposição de resíduos de aveia branca e centeio marcados com ^{15}N em pomar de pereira

Em setembro de 2015, os resíduos de aveia branca e centeio foram depositados sobre o solo, em um pomar de pereira, em São Joaquim, estado de Santa Catarina, região Sul do Brasil (latitude $28^\circ 17' 38'' \text{ S}$, longitude de $49^\circ 55' 54'' \text{ W}$ de Greenwich, altitude média de 1.353 metros). O clima da região é classificado, segundo Köppen, como mesotérmico úmido (Cfb) (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

A temperatura média é de 13°C , sendo junho e julho os meses de menores temperaturas e janeiro e fevereiro os meses de maior temperatura. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.360 a

1.600 mm ao ano, podendo ocorrer, ao longo do ano, de 20 a 29 geadas. A precipitação média e as temperaturas do ar são identificados na Figura 7.

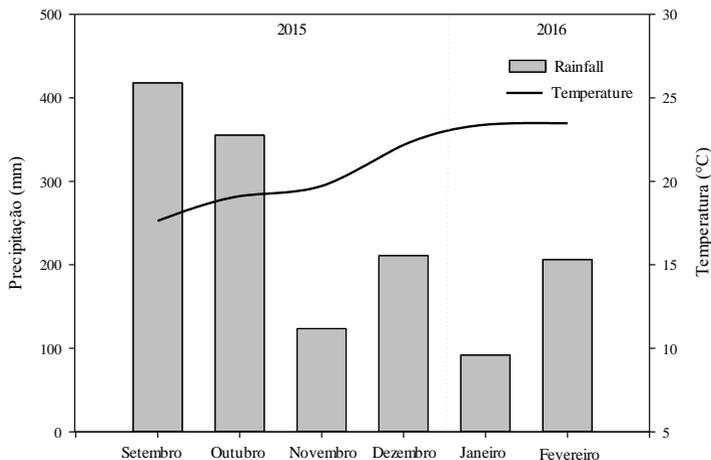


Figura 7. Precipitação e temperatura média mensal após a deposição dos resíduos de aveia branca e centeio na área experimental, durante os estádios fenológicos da pereira.

O solo foi classificado como Cambissolo Húmico (SANTOS, 2013), Inceptisol (SOIL SURVEY STAFF, 2014). O solo, na camada de 0,0-0,20 m, antes da instalação do experimento possuía os atributos químicos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Características da camada de 0,0-0,20 cm do solo, antes da instalação do experimento.

Atributo	Unidade	0,00-0,20 m
Argila (método da pipeta)	g kg ⁻¹	380
C orgânico total (extraído por Walkley-Black)	g kg ⁻¹	45,0
pH em H ₂ O (relação solo solução de 1:1)	-	5,6
N total (método Kjeldahl)	%	0,19
P disponível (extraído por Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	6,1
K disponível (extraído por Mehlich 1)	mg kg ⁻¹	78,1
Al trocável (extraído por KCl 1 mol L ⁻¹)	cmol _c kg ⁻¹	0,0
Mg trocável (extraído por KCl 1 mol L ⁻¹)	cmol _c kg ⁻¹	2,6
Ca trocável (extraído por KCl 1 mol L ⁻¹)	cmol _c kg ⁻¹	6,5

A cultivar de pereira ‘Rocha’, foi enxertada sobre o porta-enxerto Marmelo (*Pyrus calleriana*), com densidade de 1.250 plantas ha⁻¹ (4 m entre linhas x 2 m entre plantas). O sistema de condução das plantas era de líder central com poda de inverno realizada anualmente.

A vegetação espontânea foi roçada rente à superfície do solo em uma área de 0,72 m² (0,85 m x 0,85 m), sendo o caule das pereiras tomado como centro. Em seguida, 860 g de matéria verde de aveia branca e 860 g de matéria verde de centeio, foram depositadas sobre a superfície do solo. Ta conteúdo equivale a 310 g de matéria seca de aveia branca e 310 g de matéria seca de centeio, o que correspondente a 4,34 Mg de matéria seca ha⁻¹ das duas plantas de cobertura. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições, sendo cada parcela formada por cinco plantas, onde as três plantas centrais foram avaliadas. Os resíduos foram cobertos com uma tela branca de polietileno com uma malha de 4 mm e fixada ao solo com ganchos metálicos, para evitar a perda de resíduos pelo vento. A caracterização química dos resíduos de parte aérea de aveia branca e centeio estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química de resíduos da parte aérea de aveia branca e centeio no início do experimento e quantidades de matéria seca e nutriente adicionadas pelos resíduos de parte aérea.

Caracterização	Aveia branca	Centeio
C orgânico total (g kg ⁻¹)	469,87±13,26 ⁽¹⁾	439,83±15,66
N total (g kg ⁻¹)	43,33±1,42	43,67±1,66
P total (g kg ⁻¹)	4,72±0,48	4,46±0,50
K total (g kg ⁻¹)	25,90±0,95	26,60±0,12
Ca total (g kg ⁻¹)	4,85±0,21	5,07±0,17
Mg total (g kg ⁻¹)	5,54±0,22	5,25±0,35
% átomos ¹⁵ N em excesso (g kg ⁻¹)	2,03±0,18	2,08±0,17
C/N	10,85±0,56	10,08±0,45
	Quantidade adicionada (kg ha ⁻¹)	
Matéria seca (MS)	4349,00	4349,00
Carbono orgânico total	180,70	182,00
N total	12,30	11,70
P total	2,14	1,84
K total	17,70	18,24
Ca total	1,79	2,09
Mg total	1,84	2,11

⁽¹⁾± erro padrão (n=3).

Ao longo do experimento, as plantas espontâneas situadas na região de deposição dos resíduos de aveia branca e centeio, foram

dessecadas usando herbicida não residual, para evitar que as mesmas nao absorvecem o ^{15}N .

5.1.2.3.3. Avaliações e análise dos totais de N e ^{15}N

Após a deposição dos resíduos das plantas de cobertura sobre a superfície do solo, foram coletadas mensalmente 30 folhas por planta de pereira no terço médio dos ramos do ano, em todos os quadrantes da planta no período de 14 outubro de 2015 à 16 fevereiro de 2016, que foram correspondentes aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias de condução do experimento.

A plena maturação fisiológica das peras ocorreu no mês de fevereiro, onde todos os frutos de cada pereira foram contados, coletados e pesados, para a determinação da produção por planta e hectare. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, seco ao ar, passado em peneira com malha de 2 mm e reservado para análise.

As pereiras foram cortadas rente a superfície do solo e separadas em ramos do ano, ramos de mais de um ano, folhas e caule. O solo foi escavado e raízes foram retiradas e em uma área de aproximadamente, 0,85 m x 0,85 m, totalizando aproximadamente 0,72 m². As raízes foram lavadas com água corrente e, em seguida, lavadas com água destilada. Os órgãos das plantas foram pesados e retirado uma sub amostra de cada órgão. As subamostras foram lavadas com água destilada e pesadas novamente. As sub amostras dos órgãos e frutos foram secos em estufa com ar forçado a 65°C até manter a massa constante, para na sequencia ser quantificada a matéria seca.

As amostras de folhas e de solo que foram coletadas ao longo do experimento, e os órgãos coletados na maturação dos frutos, foram preparadas e submetidas à análise dos totais de ^{15}N e N em espectrômetro de massa (modelo Delta V Advantage, Thermo Fischer Scientific, Bremen, Germany).

5.1.2.3.4. Cálculos e análise estatística

Os resultados obtidos com as coletas mensais de folhas e dos órgãos coletados na maturação dos frutos, foram utilizados para calcular os átomos de ^{15}N em excesso (Equação 1), o N derivado dos resíduos (Ndfr) (Equação 2, 3) e o N derivado do solo (Ndfs) (Equação 4) nos diferentes órgãos das plantas (BRUNETTO et al., 2014a).

$$\text{Átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso na amostra} = \% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ na amostra} - 0,3663\% \quad \text{Equação (1)}$$

Com a % de átomos de ^{15}N em excesso na amostra, a quantidade de N total e a porcentagem de N nos resíduos foi possível obter o N derivado do resíduo (Ndfr) (Equações 2 e 3):

$$\text{Ndfr (\%)} = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso na amostra} \times 100}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso no resíduo}} \quad \text{Equação (2)}$$

$$\text{Ndfr (mg)} = \frac{\text{N total (mg)} \times \% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso na amostra}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso no resíduo}} \quad \text{Equação (3)}$$

Posteriormente, com os dados obtidos acima foi possível calcular o N derivado do solo (Ndfs) (Equação 4):

$$\text{Ndfs (mg)} = \text{N total (mg)} - \text{Ndfr (mg)} \quad \text{Equação (4)}$$

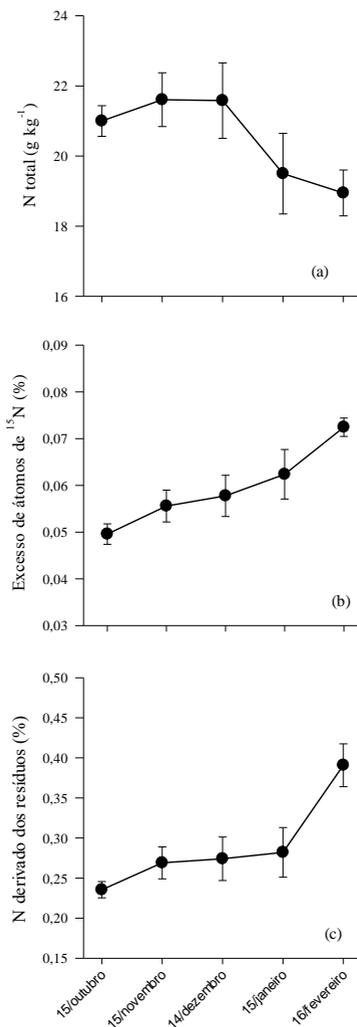
Os resultados obtidos foram submetidos aos testes de homogeneidade e normalidade e, quando houve efeito significativo, os dados foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05\%$).

5.1.2.4. Resultados

Os resultados de N total, átomos de ^{15}N e Ndfr em folhas em todas as datas de coleta (15 outubro 2015 até 16 fevereiro 2015) não apresentaram interação significativa entre os resíduos, aveia branca e centeio e, por isso, foram apresentados com seus valores médios (Figura 8). As concentrações de N total em folhas de pereiras diminuíram ao longo do tempo, quando submetidas a deposição dos dois tipos de resíduos (Figura 8). Por outro lado, as concentrações de átomos de ^{15}N e Ndfr em folhas de pereiras, aumentaram ao longo do tempo com a aplicação dos dois tipos de resíduos (Figura 8). A concentração do Ndfr nas folhas das pereiras, das duas espécies de plantas de cobertura, não ultrapassou 0,22%.

Os resultados de matéria seca, N total, átomos de ^{15}N , Ndfr e Ndfs em órgãos das pereiras, não apresentaram interação significativa entre os tipos de resíduos, aveia branca e centeio e, por isso, também foram apresentados com seus valores médios (Tabela 5). Os maiores valores de produção de matéria seca foram observados nos frutos, ramos de ano e caule (Tabela 5). A maior concentração de N total foi observada nas folhas, seguida pelos ramos do ano e ramos de ano. As maiores quantidades de N total e Ndfr foram verificadas nos ramos de ano e caule. As maiores concentrações de átomos de ^{15}N e Ndfs

ocorreram nas raízes, sendo que os valores destas duas variáveis não diferiram estatisticamente entre os demais órgãos.



Coleta após a deposição dos resíduos de planta de cobertura de aveia branca e centeio (meses)

Figura 8. Valores de N total (a), átomos de ¹⁵N (b) e N derivado dos resíduos (N_{dfr}) (c) em folhas de pereira em produção cultivadas em solo com deposição da parte aérea de resíduos de aveia branca e centeio.

As barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=3$). Letras minúsculas diferem entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p<0.05$), ns = não significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

As quantidades de Ndf e a porcentagem de Ndfs não diferiram estatisticamente entre os órgãos. A maior parte do N presente em todos os órgãos da pereira foi derivado do solo com porcentagens maiores que 99% (Tabela 5). Menos de 1% do N presente nos órgãos foi derivado dos resíduos de aveia branca e centeio.

Tabela 5. Matéria seca, N total, átomos de ^{15}N , N derivado de resíduos (Ndf) e N derivado do solo (Ndfs) em órgãos de pereiras em produção cultivados em solo com deposição de resíduos de aveia preta e centeio.

Órgãos	Matéria seca g planta ⁻¹	N total		^{15}N		Ndf		Ndfs	
		g kg ⁻¹	mg planta ⁻¹	at.% ^{15}N , excesso	% N total no órgão	mg planta ⁻¹	% N total no órgão	mg planta ⁻¹	
Fruto	11646,6a ⁽¹⁾	2,52e	29196,70b	0,0715b	0,44b	7,41a	99,79a	29136,94b	
Folhas	1720,76b	19,00a	32449,52b	0,0632b	0,39b	7,20a	99,80a	32384,12b	
Ramos do ano	1957,20b	10,61bc	20786,84b	0,0802b	0,49b	7,15a	99,75a	20733,64b	
Ramos de ano	8470,89a	10,94bc	92538,15a	0,0627b	0,38b	11,73a	99,83a	92384,78a	
Caule	12029,56a	8,01d	97024,47a	0,0580b	0,35b	10,86a	99,88a	96909,14a	
Raízes	-	11,67b	-	0,1499a	0,927a	-	99,02a	-	
CV, %	17,22 ⁽²⁾	6,82	20,12	15,89	15,55	14,85	0,23	20,07	
CV, %	11,95 ⁽³⁾	10,01	16,54	11,56	11,47	12,16	0,13	16,58	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula entre órgãos não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ⁽²⁾ Coeficiente de variação referente ao fator tipo de resíduo de planta de cobertura do erro 1. ⁽³⁾ Coeficiente de variação da interação entre tipo de resíduo de plantas de cobertura e órgãos de pereiras. Valores em negrito são apresentados quando houve diferença estatística entre os tipos de resíduos de plantas de cobertura, quando o desdobramento da interação foi significativa. Dados normalizados pelo teste de Lillifors, e transformados com raiz quadrada.

Tabela 6. Concentração de N total, átomos de ^{15}N e N derivado de resíduo (Ndf) em camadas de solo cultivado com pereira em produção e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.

Profundidade (m)	N total (%)	^{15}N (at. % excesso)	Ndf (%)
0,0-0,025	0,39a ⁽¹⁾	0,0036ab	0,13b
0,025-0,05	0,31b	0,0036b	0,14b
0,05-0,10	0,25c	0,0043a	0,16a
0,10-0,15	0,23c	0,0037b	0,14b
0,15-0,20	0,22c	0,0037b	0,14b
CV, %	8,45	6,50	6,34
CV, %	2,21	3,21	2,57

Os resultados de N total, Ndf e Ndfs em camadas de solo não apresentaram interação significativa entre os tipos de resíduos, aveia

branca e centeio e, por isso, foram novamente apresentados com seus valores médios (Tabela 6). Os maiores valores de N total foram observados na camada mais superficial do solo (0,0-0,25 m). Os valores de átomos de ^{15}N e Ndf_r não diferiram estatisticamente entre as camadas de solo. Os resultados do Ndf_r foram observados até a camada de solo de 0,20 m, não ultrapassaram 0,15% de Ndf_r em nenhuma das camadas amostradas.

5.1.2.5. Discussão

Os valores de N total, átomos de ^{15}N e Ndf_r em folhas coletadas em diferentes datas e de N total, átomos de ^{15}N em excesso, Ndf_r e Ndf_s em órgãos, não diferiram estatisticamente entre as pereiras submetidas a aplicação de resíduos de aveia branca e centeio. Um possível explicação, deve-se ao fato que as quantidades de N adicionados sobre o solo, através dos dois tipos de resíduos, serem similares (Tabela 4). A relação C/N das plantas de cobertura utilizadas também foram semelhantes e menores que 11, o que favorece a mineralização dos resíduos (Tabela 4) (DEMESTIHAS et al., 2019).

A diminuição da concentração de N total em folhas de pereiras ao longo das datas de coleta (14 de outubro à 15 de fevereiro), submetidas a aplicação de resíduos de aveia branca e centeio, aconteceu provavelmente por causa da diluição do N no tecido e ao incremento da massa verde da parte aérea (NETO et al., 2007, 2008; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; ZAPATA et al., 2003).

A degradação de compostos nitrogenados e redistribuição de parte do N presente em folhas, para outros órgãos em crescimento como os frutos, ou para órgãos de reservas de N como ramos, caule e raízes também podem ter contribuído para a redução de concentração de N nas folhas (NETO et al., 2007; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; ROCCUZZO et al., 2017).

Por outro lado, a tendência de incremento ao longo das datas de coleta dos valores de átomos em excesso de ^{15}N e Ndf_r nas folhas de pereiras, com deposição de resíduos de aveia branca e centeio, aconteceu por causa da mineralização dos dois tipos de resíduos e incremento das formas de N mineral no solo, especialmente, NO_3^- e NH_4^+ , seguido de posterior absorção e transporte, na forma absorvida ou em outras formas, para os órgãos em crescimento, como as folhas (BRUNETTO et al., 2016b; MOTA et al., 2011; NETO et al., 2008; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; ROCCUZZO et al., 2017). Porém, mais 99% do N presente nas folhas de pereiras coletadas de 14 de outubro de 2015 à 15 de fevereiro de 2016, assim como o dos órgãos

(folhas, frutos, ramos do ano, ramos de ano, caule e raízes) das pereiras, foi derivado de outras formas que não dos resíduos de aveia branca e centeio em decomposição. Esse N absorvido pode ter sido derivado da mineralização da matéria orgânica do solo (BARRETO et al., 2009; CHRISTOU; AVRAMIDES; JONES, 2006; ZENG et al., 2010), da mineralização de resíduos vegetais de plantas de cobertura (parte aérea e raízes) não marcados com ^{15}N presente no solo (TERAVEST et al., 2010; ZHANG et al., 2012) e mesmo de fertilizantes nitrogenados aplicados em anos anteriores a realização do estudo. Entretanto, essa recuperação de N foi pequena, já que o derivado de fertilizantes nitrogenados provavelmente foi perdido por volatilização, por escoamento superficial e lixiviação, porque na região de realização do estudo a média de precipitação anual é de 1863 mm.

Os elevados valores de N, derivado de outras fontes de N que não dos resíduos depositados em folhas coletadas em diferentes datas, como em órgãos das pereiras, também podem ter acontecido por causa da volatilização de parte do N presente nos dois tipos de resíduos (NETO et al., 2008; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; NEVISON et al., 2016), escoamento superficial de parte do N derivado dos resíduos (CLOUGH et al., 2013; ROCCUZZO et al., 2017), por causa da lixiviação de N, especialmente na forma de NO_3^- (MARTINEZ et al., 2015; MÉDIÈNE et al., 2002; PII et al., 2014), ou desnitrificação de formas de N ou por causa da adsorção de NH_4^+ a partículas reativas do solo (ALVES et al., 2016; NEVISON et al., 2016; NYAKATAWA; REDDY; SISTANI, 2001).

Os maiores valores de N total em órgãos perenes, como nos ramos de ano e caule aconteceram por causa da maior produção de matéria seca, o que favorece o acúmulo de N no tecido (NETO et al., 2008; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; TAGLIAVINI et al., 2007; VENTURA et al., 2010). As raízes que atuam como órgão de reserva de N (BRUNETTO et al., 2016a; TAGLIAVINI; MILLARD; QUARTIERI, 1998) apresentaram as maiores concentrações de átomos de ^{15}N em excesso provavelmente por causa da emissão de raízes jovens absorvendo mais água e nutrientes, como o N ao longo dos estágios fenológicos da pereira (CARRANCA; BRUNETTO; TAGLIAVINI, 2018; ROCCUZZO et al., 2017).

Os maiores teores de N total nas camadas mais superficiais do solo pode ser atribuído à deposição e mineralização ao longo dos anos de resíduos da parte aérea de plantas de cobertura, depois de roçadas e senescência natural (CORNWELL et al., 2008; PÉREZ-ÁLVAREZ et al., 2015), além dos ramos podados e folhas senescentes (NETO;

CARRANCA; CLEMENTE, 2009; ZHANG et al., 2012). Por outro lado, a presença de átomos de ^{15}N em excesso e Ndf_r até a camada de 0,20 m de profundidade, pode reforçar a hipótese de movimentação de formas de N no perfil do solo, especialmente, NO_3^- , porque este forma um complexo de esfera externa com partículas reativas do solo, o que facilita a sua movimentação descendente ou mesmo ascendente (REDIN et al., 2014a, 2014d). Outra possibilidade, são que as raízes mais jovens absorveram Ndf_r nas camadas mais superficiais do solo e, posteriormente, cresceram para camadas mais profundas, onde seneceram. Além disso, pode ser que as raízes de pereiras tenham exsudado compostos nitrogenados, que podem ser mais recalcitrantes, possibilitando a persistência e movimentação no solo (CARRANCA; BRUNETTO; TAGLIAVINI, 2018; MOTA et al., 2011; ROCCUZZO et al., 2017).

5.1.2.6. Conclusões

As pereiras absorvem quantidades iguais de Ndf_r de aveia branca e centeio. Mas, as quantidades de Ndf_r em órgãos anuais e perenes de pereiras são pequenas, sendo as maiores quantidades de N presentes nas pereiras derivadas de outras fontes de N que não do Ndf_r de aveia branca e centeio. Assim, o N derivado dos resíduos de aveia branca e centeio pouco contribui para a nutrição da pereira ‘Rocha’ no mesmo ciclo de deposição dos resíduos sobre a superfície do solo.

Material Suplementar

Quadros de análise de variância referentes a Tabela 3.

Tabela 7. Quadro de análise de variância da variável matéria seca (g planta⁻¹) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	2068321,073103	2068321,073103	1	0,3641
Órgão	4	613234182,608471	153308545,652118	100,661	0,0099
Órgão*planta					
cobertura	4	11787381,708397	2946845,427099	1,935	0,3685
Erro 1	2	3046039,722730	1523019,861365		
Erro 2	18	13194426,821598	733023,712311		
Total corrigido	29	643330351,934300			
CV 1 (%)	17,22				
CV 2 (%)	11,95				
Média geral	7164,8161317	Número de observações	30		

Tabela 8. Quadro de análise de variância da variável N total (g kg^{-1}) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	1,283340	1,283340	2,525	0,2530
Órgão	5	861,300112	172,260022	338,877	0,0029
Órgão*planta cobertura	5	14,678876	2,935775	5,775	0,1542
Erro 1	2	1,016653	0,508327		
Erro 2	22	24,109792	1,095900		
Total corrigido	35	902,388773			
CV 1 (%)	6,82				
CV 2 (%)	10,01				
Média geral	10,4587545	Número de observações	36		

Tabela 9. Quadro de análise de variância da variável N total (mg planta^{-1}) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	614673735,098796	614673735,098796	5,131	0,1517
Órgão	4	3,310942582E+0010	8,27735646E+0009	69,094	0,0143
Órgão*planta cobertura	4	627563251,925613	156890812,981403	1,310	0,4763
Erro 1	2	239598070,067979	119799035,033989		
Erro 2	18	1,457144431E+0009	80952468,365719		
Total corrigido	29	3,604840531E+0010			
CV 1 (%)	20,12				
CV 2 (%)	16,54				
Média geral	54399,1417651	Número de observações	30		

*Dados transformados: raiz quártica

Tabela 10. Quadro de análise de variância da variável ^{15}N (at % ^{15}N , excesso) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,003068	0,003068	18,550	0,0499
Órgão	5	0,036147	0,007229	43,711	0,0225
Órgão*planta cobertura	5	0,001532	0,000306	1,852	0,3867
Erro 1	2	0,000331	0,000165		
Erro 2	22	0,001928	0,000088		
Total corrigido	35				
CV 1 (%)	15,89				

CV 2 (%)	11,56	Número de	
Média geral	0,0809569	observações	36

*Dados transformados: raiz quártica

Tabela 11. Quadro de análise de variância da variável N derivado de resíduos (Ndf_r) (% N total no órgão) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,155379	0,155379	25,534	0,0370
Órgão	5	1,380045	0,276009	45,357	0,0210
Órgão*planta cobertura	5	0,057022	0,011404	1,874	0,3835
Erro 1	2	0,012171	0,006085		
Erro 2	22	0,072747	0,003307		
Total corrigido	35				
CV 1 (%)	15,55				
CV 2 (%)	11,47				
Média geral	0,5015543	Número de observações	36		

Tabela 12. Quadro de análise de variância da variável N derivado de resíduos (Ndf_r) (mg planta⁻¹) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	38,179130	38,179130	21,980	0,0426
Órgão	4	120,024906	30,006226	17,275	0,0555
Órgão*planta cobertura	4	16,554759	4,138690	2,385	0,3168
Erro 1	2	3,474020	1,737010		
Erro 2	18	20,964517	1,164695		
Total corrigido	29				
CV 1 (%)	14,85				
CV 2 (%)	12,16				
Média geral	8,8745351	Número de observações	30		

*Dados transformados: raiz quártica

Tabela 13. Quadro de análise de variância da variável N derivado do solo (Ndf_s) (% N total no órgão) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,043456	0,043456	0,836	0,4517
Órgão	5	1,872077	0,374415	7,203	0,1264
Órgão*planta cobertura	5	0,083605	0,016721	0,322	0,8674
Erro 1	2	0,103964	0,051982		
Erro 2	22	0,366112	0,016641		
Total corrigido	35				

CV 1 (%)	0,23		
CV 2 (%)	0,13		
Média geral	99,7063638	Número de observações	36

Tabela 14. Quadro de análise de variância da variável N derivado do solo (Ndfs) (mg planta⁻¹) em órgãos de pereira cultivadas em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	618126817,641302	618126817,641302	5,202	0,1501
Órgão	4	3,303705040E+0010	8,25926260E+0009	69,510	0,0142
Órgão*planta cobertura	4	627606938,339709	156901734,584927	1,320	0,4739
Erro 1	2	237643954,059538	118821977,029769		
Erro 2	18	1,459505727E+0009	81083651,480937		
Total corrigido	29				
CV 1 (%)	20,07				
CV 2 (%)	16,58				
Média geral	54309,7293659	Número de observações	30		

*Dados transformados: raiz quártica

Quadros de análise de variância referentes a Tabela 4.

Tabela 15. Quadro de análise de variância da variável N total (%) em camadas de solo cultivado com pereira e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,057732	0,057732	98,986	0,000
Profundidade	4	0,118539	0,029635	50,811	0,000
Profundidade*planta cobertura	4	0,013399	0,003350	5,744	0,0030
Erro 1	20	0,011665	0,000583		
Erro 2	19	0,201335			
Total corrigido	29				
CV 1 (%)	8,45				
CV 2 (%)	3,21				
Média geral	0,2858913	Número de observações	30		

Tabela 16. Quadro de análise de variância da variável ¹⁵N total (at. % excesso) em camadas de solo cultivado com pereira e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	1,936033333E-	1,936033333E-	3,160	0,0907

		0007	0007		
Profundidade	4	0,000002	5,35638333E-0007	8,743	0,003
Profundidade*planta cobertura	4	1,826466667E-0007	4,56616667E-0008	0,745	0,575
Erro 1	20	0,000001	6,12666667E-0008		
Erro 2	19				
Total corrigido	29				
CV 1 (%)	6,50				
CV 2 (%)	3,21				
Média geral	0,0038057	Número de observações	30		

*Dados transformados: raiz quártica

Tabela 17. Quadro de análise de variância da variável N derivado de resíduo (Ndfr) (%) em camadas de solo cultivado com pereira e submetido à adição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,057732	0,057732	98,986	0,000
Profundidade	4	0,118539	0,029635	50,811	0,000
Profundidade*planta cobertura	4	0,013399	0,003350	5,744	0,0030
Erro 1	20	0,011665	0,000583		
Erro 2	19				
Total corrigido	29				
CV 1 (%)	8,45				
CV 2 (%)	3,21				
Média geral	0,2858913	Número de observações	30		

Quadros de análise de variância referentes a Figura 2.

Tabela 18. Quadro de análise de variância da variável N total (g kg^{-1}) de folhas de pereira em produção cultivada em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	43,132107	43,132107	7,160	0,0555
Tempo	4	24,097786	6,024447	1,000	0,500
Tempo*planta cobertura	4	18,938685	4,734671	0,786	0,5895
Erro 1	4	24,097786	6,024447		
Erro 2	16	27,135287	1,695955		
Total corrigido	29	137,401651			
CV 1 (%)	11,99				
CV 2 (%)	6,36				
Média geral	20,4755967	Número de observações	30		

Tabela 19. Quadro de análise de variância da variável átomos de ^{15}N (^{15}N % atm. excesso) de folhas de pereira em produção cultivada em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,004030	0,004030	2,188	0,2132
Tempo	4	0,007367	0,001842	1,000	0,5000
Tempo*planta cobertura	4	0,000674	0,000168	0,091	0,9801
Erro 1	4	0,007367	0,001842		
Erro 2	16				
Total corrigido	29				
CV 1 (%)	8,72				
CV 2 (%)	0,00				
Média geral	0.4923827	Número de observações	30		

*Dados transformados: raiz quártica

Tabela 20. Quadro de análise de variância da variável N derivado dos resíduos (Ndf_r) (%) de folhas de pereira em produção cultivada em solo com deposição de resíduos de aveia branca e centeio.

Fator variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Planta de cobertura	1	0,014016	0,014016	1,693	0,2630
Tempo	4	0,033107	0,008277	1,000	0,5000
Tempo*planta cobertura	4	0,001741	0,000435	0,053	0,9928
Erro 1	4	0,033107	0,008277		
Erro 2	16				
Total corrigido	29	0,054581			
CV 1 (%)	12,38				
CV 2 (%)	0,00				
Média geral	0,7347434	Número de observações	30		

*Dados transformados: raiz quártica

5.1.3. *Experimento 3 Yield, fruit quality and nitrogen content in pear (Pyrus communis) orchard cv. Rocha submitted to different nitrogen fertilization doses*¹

5.1.3.1. Abstract

Mineralized nitrogen (N) from organic matter and decomposing residues in most soils are not always accounted for. Little is known about the correct N application rate for pear trees to promote yield and fruit quality, without increasing the risk of N loss into the environment. The study aimed to evaluate the effect of N doses application on N soil content, tree yield and fruit quality. The treatments consisted in the application of 0, 40, 80, 120 and 160 kg N ha⁻¹ year⁻¹, whereas urea was applied on the soil surface in September and February for 5 seasons (2011/12 to 2015/16). Leaves were collected, prepared and submitted to nutrient analysis. Fruit weight, number and yield were evaluated. Soil samples were collected at 0-0.20 m in the 2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016 crop seasons, prepared and submitted to NH₄⁺-N and NO₃⁻-N analysis, and then mineral N content was calculated. Peel color, ethylene production, and respiration rate were analyzed in the 2015/2016 crop season after 90 days inside the controlled atmosphere storage chamber. The fruits were kept at ambient conditions for 7 days and evaluated again for peel color, ethylene production and respiration rate, as well as destructive parameters such as titratable acidity, total soluble solids, and pulp firmness. The rate of N application did not affect leaf nutrient concentration and yield, because the mineral N soil concentration was well above the optimal for pear.

Keywords: Nitrogen fertilization; Soil mineral N; Fruit quality.

5.1.3.2. Introduction

Brazil imports approximately 150 thousand tons of pear per year, which is equivalent to 86% of the total fruit consumed in the country (FAO, 2019). This is related to the fact that only 1.305 ha are cultivated with pear in Brazil, which generates a total production of 19.6 thousand Mg ha⁻¹ year⁻¹ (FAO, 2019).

The fruit import can represent a high cost for the importing countries, reducing the generation of jobs linked to the productive chain and, consequently, diminishing the profitability of the producers. For this reason, it is desirable to prompt cultivation and production of fruits

¹ Submetido a revista Scientia Horticulturae em 20 março 2018.

in rural areas of the consuming country, especially in regions with favorable soil and climatic conditions for fruit trees like the pear tree (FACHINELLO et al., 2011; MELLO, 2013). The average yield of the pear tree in Brazil is $16.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (EPAGRI, 2018; IBGE, 2019), which is lower than what is achieved in traditional producing countries, such as Argentina, which obtain yields of $36.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (FAO, 2019).

This low pear yield may be related to the difficulty of cultivars, rootstocks and cultivar-rootstock combinations in adapting to climatic conditions, as well as a lack of knowledge on the best management practices to reduce the incidence of pest and diseases, but also because of a lack of definition of the correct nitrogen (N) application rate. This is because N uptake and storage by the pear trees can impact their fruit growth, yield, and quality (BOTELHO et al., 2010; IKINCI et al., 2014).

The state of Santa Catarina (SC), which is located in the southern region of Brazil, is the second largest pear producer in the country (MELLO, 2013), holding 420 hectares of cultivated area (IBGE, 2015). Some areas of Santa Catarina have adequate climatic conditions for pear cultivation (FACHINELLO et al., 2011) and also the industrial infrastructure already in place for apple production, that can be extended and used for pear production (MELLO, 2013). In general, pear orchards are established in flat or undulating relief, in Typic Haplumbrept or Lithic Udorthents soil with medium to high organic matter content (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Cover crop plants of the legume family that cohabit within these orchards may promote biological fixation of atmospheric N. However, grass family plants may absorb nutrients, such as N from deeper soil layers (GÓMEZ-MUÑOZ et al., 2014). Cover crops residues can be deposited and decomposed on the soil surface to mineralize N (MONTANARO et al., 2017). As a result, the soil hypothetically provides satisfactory N demand to pear trees (RUFAT et al., 2010). However, the orchards are located at altitudes of approximately 1300 m, with an average temperature of 13°C , which reduces the mineralization of organic matter residues in the soil, decreasing N availability to the plants (RAMOS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2013). Furthermore, soils in this region are typically shallow, which reduces the volume explored by the roots, decreasing the uptake of water and nutrients, such as N (ERNANI et al., 2008). Therefore, there is a real need for N application in the soil that can be found in sources such as urea, which is a nitrogenous fertilizer with a low cost that can be easily found and purchased.

The pear trees N requirement and doses can be established based on organic matter (OM) contained on the soil, leaf N concentration and vegetative growth (CQFS-RS/SC, 2016). However, soil OM offers an idea of the potential N available on the soil over medium to long-term periods but does not predict values in short-term periods, such as in an agricultural crop season (ERNANI et al., 2008). Furthermore, leaf N concentration is not always sensitive to diagnose N availability for plants and often has no relation with yield or fruit quality parameters (DAR et al., 2015; SOUZA et al., 2013). Therefore, performing calibration experiments in the long run, to compare different N applications, can provide results and information needed to enhance the crops (STÜPP et al., 2015). Thus, an increase in fruit yield, quality, peel color, pulp firmness, TA, TSS and in pre and post-harvest (MARTIN et al., 2015) are expected along with a rise in farm income (SOUZA et al., 2013).

Pear trees that grow in soils with low N availability may exhibit a leaf area reduction, which decreases the photosynthetic rate, reflecting in a smaller fruit size and lower yield. On the other hand, plants submitted to high N application rates can increase their concentration inside the plant, stimulating the leaf area and, consequently, the incidence of foliar and fruit diseases. However, N surplus can increase fruit diameter, which may dilute TSS and increase the respiration rate. Adequate N application rates in pear orchards soil may increase soil mineral N content (mainly $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$) and supply plant nutrient demand (BRUNETTO et al., 2015b; GÓMEZ-MUÑOZ et al., 2014). Yet, in periods of rainfall (typical in subtropical conditions), most N forms (mainly N-NO_3^- that is not absorbed by pear trees) may be lost by leaching or surface runoff, especially in soils located in sloping relief.

The study aimed to assess the effect of N application rates on soil N concentration, tree yield, and fruit quality in a commercial pear orchard in South Brazil.

5.1.3.3. Material and methods

5.1.3.3.1. Location and treatments

The experiment was conducted in a pear orchard of cv. Rocha grafted on the quince (*Cydonia oblonga*) BA29 rootstock, at a density of 2500 plants ha^{-1} (4 m between rows x 1 m between plants). The trees were planted in 2006 in São Joaquim, located in the state of Santa Catarina, southern Brazil (28° 17' 38" S, 49° 55' 54" W), with an average altitude of 1,353 meters. The climate is humid mesothermal

(Cfb) according to Köppen classification (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Average annual rainfall ranges from 1360 to 1600 mm, and there are 20 to 29 frosts throughout the year. The average temperature (°C) and rainfall (mm) during the whole experiment are shown in Figure 9.

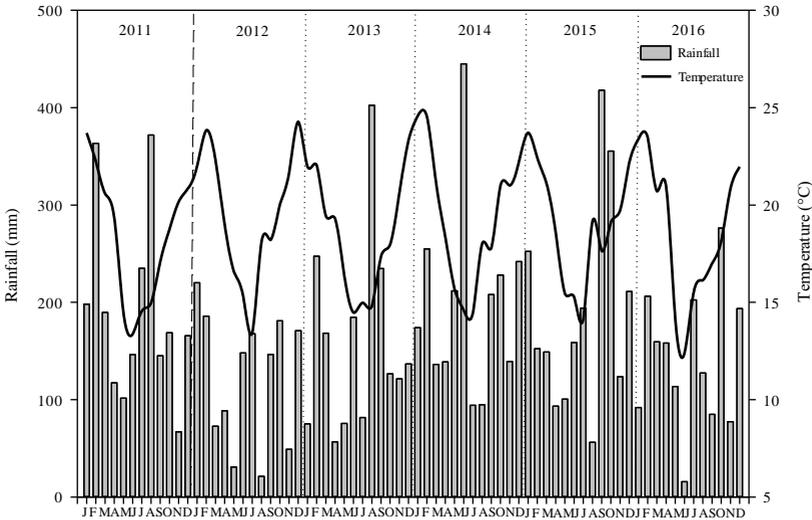


Figure 9. Average monthly rainfall (mm) and air temperature (°C) in 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 and 2016.

The soil was a Typic Humudept (SOIL SURVEY STAFF, 2014) having the following characteristics at 0-0.20 m: 450 g kg⁻¹ of clay (Pipette method); 43 g kg⁻¹ of organic matter (Walkley-Black method); 6.6 pH in water (1:1 ratio); 4.6 mg kg⁻¹ of available P and 65 mg kg⁻¹ of available K (both extracted by Mehlich-1); 0.0, 9.5 and 4.0 cmol_c kg⁻¹ of exchangeable Al, Ca and Mg, respectively (extracted by KCl 1 mol L⁻¹). Before the young pear trees placement, an amount of 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ (CQFS-RS/SC 2004) and 25 kg K₂O ha⁻¹ (CQFS-RS/SC 2004), were applied to the soil surface and incorporated up to the 0-20 cm layer, with plowing followed by harrowing.

Later, approximately 10% of the trees were grafted with Asian pear (*P. serotina*) cv. Housui, to aid the orchard pollination as well as the installation of beehives (*Apis mellifera*), which were added between the rows every year at the flowering period. The pear trees were handled

in a central leading system, abiding 1 meters spacing of between plants and 4 meters between rows (density of 2500 plants per hectare). Every 2 months, the cover crops located at the rows were desiccated with 2.0 L ha⁻¹ of non-residual herbicide (N-(phosphonomethyl) glycine, glyphosate). The cover crops contained in the orchard consisted of the following species: white clover (*Trifolium repens*), red clover (*Trifolium pratense*), arrowleaf clover (*Trifolium vesiculosum*), broadleaf plantain (*Plantago major*), paspalum (*Paspalum sp*), anise (*Pimpinella anisum*) and other grasses (*Graminea sp*).

The cover crops management was carried out with periodic mowing along the vegetative and productive cycle of the pear trees, leaving the residues over the soil surface. The experimental design chosen was randomized blocks implemented in October 2010, which consisted of five plants sequentially arranged in a row where the three central plants were evaluated. The treatments consisted of annual applications of 0, 40, 80, 120 and 160 kg N ha⁻¹ by the use of urea (44% total N). The urea was applied twice a year on the soil surface (September and February), without incorporation and in the treetop projection area. The application of fungicides and insecticides if required were carried out following technical recommendations for pear tree crop (SANTOS; NAVA, 2016).

5.1.3.3.2. Leaf collection and nutrient analysis

From January 15 to February 15 of each crop season, 20 leaves were picked up per plant in the middle third of the year branches, on opposite sides of the plant following CQFS-RS/SC, 2016 references. Subsequently, the leaves were dried in a forced air circulation incubator at 65°C, to be grounded in a Willey mill with a 2 mm sieve and directed to sulfur digestion (TEDESCO et al., 1995). An amount of 0.200g of dry matter was placed it in a digestion tube (25 x 250 mm) to be then added 1 mL of H₂O₂, 2 mL H₂SO₄ and 0.7g of a digestion mixture (90.9% Na₂SO₄ and 9.1% CuSO₄.5H₂O). The tubes were then placed and heated in a digester block at 150°C, in which the temperature was raised gradually, 50°C every 30 minutes up to 350°C.

After complete digestion of the leaves, until a predominance of a yellow-greenish color, the tubes remained in the digester block for another 60 minutes at 350°C. Sequentially, distilled water was added until reach a total volume of 50 mL in each digestion tube. From that total, 10 mL was subtracted and added in another digestion tube with 5 mL of NaOH 10 mol L⁻¹ to determine the total amount of N. The first step was to couple the digestion tube to a semi-micro Kjeldahl steam

distillation unit (Tecnal TE-0364, Brazil), until the accumulation of 35 mL in erlenmeyer flask containing 5 mL of indicator-boric acid mixture.

Straightway, the extract was titrated with H_2SO_4 (0.05 mol L^{-1}) to quantify the total content of N. The leaves collected in 2014 and 2015, P and K concentrations were also analyzed. The P concentrations were determined by spectrophotometer (Pro Analysis UV 51-00, Brazil), with 882 nanometers absorbance, according to Murphy & Riley's method (1962). The K concentration was determined by a flame photometer (Digimed DL-62, Brazil) (TEDESCO et al., 1995).

5.1.3.3.3. Yield and chemical analysis of fruits after harvesting and storing

The full physiological maturation of pears in all crops happened in February, in which every fruit per plant was counted, collected and weighed using a scale Shimadzu (AUY 220, Japan), in order to determine yield per plant and per hectare. In the 2015/2016 crop season, 20 fruits were randomly collected per treatment, discarding the damaged fruits, to be later stored in a refrigerated atmosphere for 90 days at a temperature of $-0,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$ and $95 \pm 2\%$ RH. Afterwards, the fruits were withdrawn from the cold chamber and submitted to peel color, ethylene production, and respiratory rate analysis (BRACKMANN et al., 2013). These same parameters in the fruits were assessed after seven days under ambient conditions ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ and $80 \pm 5\%$ RH), and sequentially determined pulp firmness, total titratable acidity (TFA) and soluble solids (SS) (LUTZ, 2008).

The peel color readings were determined using a colorimeter (Konica Minolta CR 400, Japan), from the average of three readings performed in the equatorial region of the fruits, which had their color expressed in the following variables: L, corresponding to the luminosity (brightness, clarity or reflectance; 0 = dark/opaque and 100 = white); C, Chroma (color saturation or intensity, 0 = impure color and 60 = pure color); and H, Hue angle (color angle, 0° = red, 180° = green, 270° and 360° = black). The ethylene production of the fruits was determined by gas chromatography, where the fruits were individually allocated in a hermetically sealed 5L container for approximately one hour. Then, two 1.0 mL gas samples were subsequently injected into a chromatograph (Varian®, Star CX3400, Palo Alto, USA) with a flame ionization detector (FID) and a Porapak column N80/100 with controlled temperature (90 , 140 and 240°C). The ethylene production was expressed in nmol of ethylene $\text{kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$. The respiratory rate was

measured by the amount of CO₂ produced by the fruits in an electronic gas analyzer (Isocell®), expressed in mL CO₂ kg⁻¹ h¹.

The TTA was performed by processing the fruits in a centrifuge (Philips walitta, Brazil) for manual titration. Ten milliliters of the fruit juice extract obtained was pipetted, and then 100 ml of distilled water was added to be titrated with NaOH 0,1 mol L⁻¹ until pH 8.1. The SS contents were obtained using a manual refractometer (Atago, Master α , Japan), and expressed in °Brix units. The pulp firmness was measured with an automatic penetrometer (Effegi Systems, Milan, Italy), and expressed in Newton (N). The penetrometer readings were performed at two opposed locations in the equatorial region of the fruits after removal of a peel portion with an 8.0 mm diameter tip.

5.1.3.3.4. Soil collection and analysis of N forms

On 14 March, April, June and July 2014; and on 15 September, October, November, and December 2015 and January 2016, three samples were collected at 0.0-0.20 m using an auger in the treetop projection area of the three central plants of each treatment. The sample was placed into plastic bags and stored in a Styrofoam cooler with ice, where 5g of moist soil was selected in the lab and placed into a 90 mL snap cap flask. Then, 50 mL of a 1 mol L⁻¹KCl solution was added and mixed for 30 min to be decanted for 30 min. Soon after, 20 mL of the supernatant was added in digestion tubes with 0.7 g of MgO and distilled in a semi-micro Kjeldahl steam distillation unit.

After distillation, the extract (± 35 mL) was collected in an Erlenmeyer flask containing 5 mL of indicator-boric acid mixture, and titrated with H₂SO₄ (0.0025 mol L⁻¹), allowing to define NH₄⁺-N content. In the same sample, 0.7 g of Devarda's solution was added and subjected again to distillation, following the same procedure to determine N-NO₃⁻ content. With N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ data, it was possible to calculate N mineral content (TEDESCO et al., 1995).

5.1.3.3.5. Statistical analyses

Polynomial regression equations were adjusted for leaf N, P and K content in the soil, leaf nutrient composition, production parameters (number, fruit mass, yield per plant and hectare) and quality parameters (peel color, ATT, SST, pulp firmness, ethylene production and respiratory rate), when there was a significant effect over the variance analysis. Due to the lack of "independence" among observations and N content results in the soil throughout the evaluation period, made a polynomial regression analysis impossible. Moreover,

the impossibility to control some environmental variables experimentally implied in faulty assumptions for the variance analysis. As a result, the averages of the results were presented with their respective standard deviations.

A complete-linkage clustering analysis was also performed using Statistica software (Statsoft, 1996) with the following variables: leaf N content; fruit number and weight, and yield per plant of the 0, 40, 80, 120 and 160 kg N ha⁻¹, regarding treatments in years 1, 2, 3, 4 and 5 (crop seasons 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016, respectively).

5.1.3.4. Results

5.1.3.4.1. N in soil

On March 14th (2014), the highest NH₄⁺-N concentration collected at layer 0-0.20 m in the soil presented a value higher than 200 mg kg⁻¹, being induced by the application of doses of 120 kg N ha⁻¹ followed by doses of 160 and 80 kg N ha⁻¹. The lowest NH₄⁺-N concentration in soil was identified at doses of 0 and 40 kg N ha⁻¹ (Figure 10a). On April and July 14th (2014), NH₄⁺-N soil concentration was not affected by N rates, but on June 14th (2014), N dose application of 160 kg ha⁻¹ promoted the highest NH₄⁺-N soil concentration. On September, October and December 15th (2015), the soil content of NH₄⁺-N was not affected by N doses (Figure 10a). However, on November 15th (2015), the highest NH₄⁺-N soil concentration was supported by N doses of 120 and 160 kg N ha⁻¹. In January 2016, the highest NH₄⁺-N concentration was found in response to 160 and 120 kg N ha⁻¹ application on soil (Figure 10a).

On March 14th (2014), the highest content of NO₃⁻-N in the soil was induced by the application of N doses of 80, 120 and 160 kg ha⁻¹ (Figure 10b). On April and July 14th (2014), N-NO₃⁻ soil concentration was not affected by N application doses. On June 14th (2014), the highest NO₃⁻-N concentration was found at 160 kg N ha⁻¹ dose application, which matches with the same NH₄⁺-N concentration in the soil at the same evaluation period (Figure 10a). On September and December 15th (2015), soil NO₃⁻-N concentration was not affected by N rate.

On October 15th (2015), the lowest NO₃⁻-N was found at doses application of 40 kg N ha⁻¹ and on 15th (2015), at 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹. On January 16th (2016), the highest soil NO₃⁻-N was prompted by doses application of 160 kg N ha⁻¹ (Figure 10b). On March 14th (2014), the highest soil mineral N concentration was found at the application

doses of 80, 120 and 160 kg N ha⁻¹ (Figure 10c). On April and July 14th (2014), the soil mineral N content did not diverge statistically among N doses.

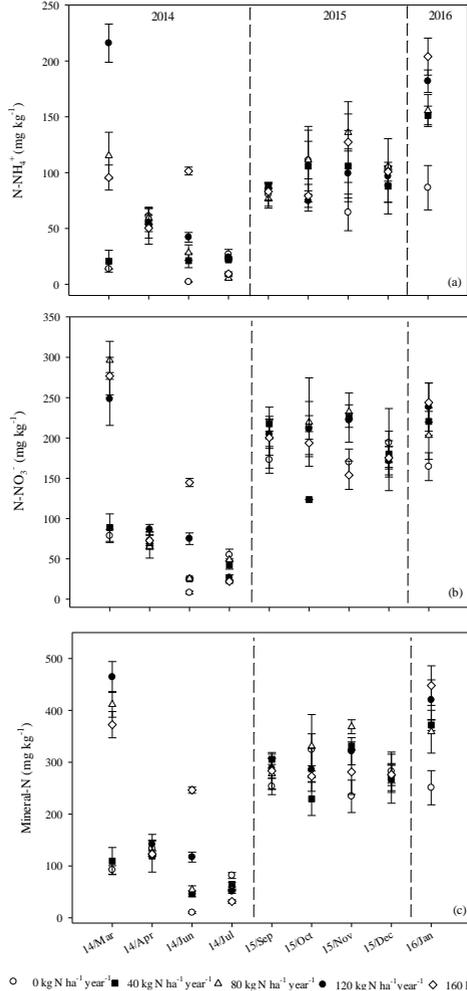


Figure 10. N-NH₄⁺ (a), N-NO₃⁻ (b) and mineral N (c) concentration at 0.0-0.20 m in a pear orchard submitted to nitrogen doses. Vertical bars indicate the standard error of the mean.

In June 2014, the highest mineral N concentration was identified at an application dose of 160 kg N ha⁻¹. On September,

October and December 15th (2015), the soil mineral N concentration was not affected by N application doses, but on November 15th (2015), the highest mineral N soil concentration was identified in response to the application doses of 80 kg N ha⁻¹. On January 16th (2016), the application dose of 160 kg N ha⁻¹ promoted the highest N mineral concentration in soil (Figure10c).

5.1.3.4.2. Leaf nutrient concentration tree yield and fruit quality

Table 21. Leaf nutrient concentration, fruit number and weight, production per plant and per hectare in pear trees submitted to nitrogen application.

Variable	N dose (kg N ha ⁻¹ year ⁻¹)				CV(%)	
	0	40	80	120		160
-----2011/2012 crop-----						
Leaf N (g kg ⁻¹)	15.8 ^{ns}	14.7	14.9	14.6	16.3	15.1
Number of fruits per plant	33 ^{ns}	31	29	27	35	25.1
Fruit weight (g)	164.5 ^{ns}	163.1	167.0	164.7	155.2	9.5
Production per plant (kg)	5.3 ^{ns}	5.1	4.9	4.4	5.4	18.4
Yield per hectare (Mg ha ⁻¹)	13.5 ^{ns}	12.8	12.3	11.0	13.6	18.4
-----2012/2013 crop-----						
Leaf N (g kg ⁻¹)	13.8 ^{ns}	15.0	14.8	14.4	14.3	13.2
Number of fruits per plant	41 ^{ns}	28	31	40	37	20.6
Fruit weight (g)	122.0 ^{ns}	115.9	122.1	128.0	122.1	11.3
Production per plant (kg)	4.9 ^{ns}	3.2	3.8	4.7	4.4	22.3
Yield per hectare (Mg ha ⁻¹)	12.3 ^{ns}	8.1	9.5	13.0	11.1	22.3
-----2013/2014 crop-----						
Leaf N (g kg ⁻¹)	13.9 ^{ns}	14.9	14.9	14.4	14.3	13.2
Number of fruits per plant	47 ^{ns}	35	40	46	46	17.0
Fruit weight (g)	106.0 ^{ns}	131.0	139.0	119.0	135.0	14.3
Production per plant (kg)	4.9 ^{ns}	4.6	5.4	5.5	6.2	20.0
Yield per hectare (Mg ha ⁻¹)	12.4 ^{ns}	11.6	13.5	13.7	15.5	20.0
-----2014/2015 crop-----						
Leaf N (g kg ⁻¹)	15.2 ^{ns}	16.0	17.7	19.3	21.4	9.4
Leaf P (g kg ⁻¹)	1.4 ^{ns}	1.2	1.3	1.4	1.7	23.4
Leaf K (g kg ⁻¹)	2.8 ^{ns}	3.2	3.1	3.0	3.3	23.1
Number of fruits per plant	39 ^{ns}	35	34	33	32	22.4
Fruit weight (g)	127.5 ^{ns}	120.5	134.0	134.5	126.5	15.6
Production per plant (kg)	5.1 ^{ns}	3.9	4.8	4.3	4.4	27.6
Yield per hectare (Mg ha ⁻¹)	12.7 ^{ns}	9.8	12.0	10.7	10.9	27.6
-----2015/2016 crop-----						
Leaf N (g kg ⁻¹)	15.2 ^{ns}	19.3	16.0	16.8	18.5	18.3
Leaf P (g kg ⁻¹)	2.9 ^{ns}	3.3	3.1	2.8	3.2	8.5
Leaf K (g kg ⁻¹)	2.9 ^{ns}	2.2	3.5	3.3	3.2	28.5
Number of fruits per plant	58 ^{ns}	27	44	45	35	18.2
Fruit weight (g)	98.5 ^{ns}	99.6	109.2	103.8	98.8	17.1
Production per plant (kg)	5.8 ^{ns}	2.7	5.2	5.0	3.5	26.8
Yield per hectare (Mg ha ⁻¹)	14.4 ^{ns}	6.8	12.9	12.4	8.7	26.9

Ns = not significant at 5% probability; * = Significant at 5% probability.

The N doses applied in the soil over five years did not affect the concentration of N, P, and K in the leaves, neither fruit number and weight, or pear trees yield (Table 21).

The N application did not also affect, peel color, ethylene production and respiratory rate of the pear fruits after 90 days in refrigerated storage (Table 22). Likewise, after 7 days under ambient conditions at 20°C, peel color, titratable acidity and ethylene production in the fruit were not affected. However, the respiration rate increased in a quadratic way, along with increasing N application doses (Table 22).

Table 22. Quality parameters of pear (cv. Rocha) submitted to N doses after 90 days of refrigerated storage and after 7 days at ambient conditions in the 2015/2016 crop season.

N dose (Kg N ha ⁻¹ year ⁻¹)	Peel color (°h)	Pulp firmness (N)	Titratable acidity (%)	Soluble solids (°Brix)	Ethylene production ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4$ $\text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$)	Respiration rate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{kg}^{-1}$ s^{-1})
After 90 days of refrigerated storage						
0	74.8 ^{ns}	na	na	na	19.3 ^{ns}	9.7 ^{ns}
40	74.1	na	na	na	22.5	10.9
80	77.0	na	na	na	18.8	9.3
120	74.8	na	na	na	21.2	10.3
160	75.6	na	na	na	19.6	10.0
CV(%)	3.05	-	-	-	14.8	7.3
After 7 days at ambient conditions at 20°C						
0	77.1 ^{ns}	70.4 ⁽¹⁾	1.6 ^{ns}	14.3 ^{ns}	8.15 ^{ns}	13.0 ⁽²⁾
40	77.1	69.6	1.6	14.6	9.60	13.8
80	77.4	69.0	1.5	14.4	11.62	15.4
120	78.8	60.6	1.6	14.3	10.29	17.9
160	79.7	60.2	1.7	14.0	10.18	19.1
CV (%)	2.62	6.21	14.9	3.44	9.65	5.3

⁽¹⁾ $y=70.83-0.02x+0.003x^2$, ($R^2 = 0.86^*$); ⁽²⁾ $y=12.18+0.11x-0.005x^2$ ($R^2= 0.75^*$); ^{ns}= not significant; * = Significant at 5% probability; Na = not analyzed.

5.1.3.5. Discussion

The N mineral data collected during the experiment revealed an N soil content variation following seasonal tree demand for nutrients. In winter period (i.e., June - August), there was a decrease of N availability on the soil during tree dormancy cycle, and in spring and summer (i.e., September - February), there was an increase of N availability on soil due to higher pear tree demand for nutrients and warmer temperatures. In this study, the average temperature was 20°C in the summer, which is considered suitable for C and N mineralization in soil temperatures (CHRISTOU; AVRAMIDES; JONES, 2006; POLICARPO et al., 2002; YANG et al., 2015). Also, soil N mineral concentration was considered high throughout the experiment along with NH_4^+ -N concentration,

which remained above 200 mg kg⁻¹ and having season peaks, in March, 2014 and January, 2015.

The reason for high ammonium-N concentration is linked probably to the low pH and O₂ concentration in the soil, as a result of frequent rainfalls and high clay content in the soil (45%). The ammonium-N only represents a fraction of N uptaken by the roots, which may cause a toxic effect in cell cytosol if accumulated in excess. To avoid it, ammonium-N is assimilated by plant roots and transported quickly to other organs into amino acids form (CHRISTOU; AVRAMIDES; JONES, 2006; MARSCHNER, 2012; NETO et al., 2008; ROCCUZZO et al., 2017). However, the assimilation produces the excretion of one proton per ammonium-N molecule, which decreases the rhizosphere pH. At low external pH, like in the experiment conditions, proton excretion is impaired and cytosol pH drops, having a negative effect over the plant growth.

All these results portraits a paradox identified during the experiment, where high N content available in the soil was not followed by an N uptake increase of the pear tree, nor a rise in leaf N concentration. In a matter fact, regardless which treatment was applied, N concentration in the leaves remained always lower than 20 g kg⁻¹, with only one exception (trees fertilized with 160 kg N ha⁻¹, in 2015), whereas optimal N leaf concentration for cultivar Rocha is higher than 20 g kg⁻¹ (NETO et al., 2011). One possible solution for this problem can be the reduction of N mineral availability in the soil, by introducing high N demanding intercrop with a high C: N ration, that can promote microbial biomass development (WEI et al., 2017). However, in the winter, there was a reduction of soil mineral N, especially NO₃⁻-N, that may have been caused by soil surface runoff or leaching (CLOUGH et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016b), since there was intense precipitation during the period (average rainfall of 445 mm).

Unexpectedly, N application exhibited a positive effect on fruit rate respiration and a negative effect on pulp firmness, after 90 days in refrigeration storage and 7 days under ambient conditions at 20°C. Typically, high N application delays fruit maturation, lowers fruit respiration rate and ripeness.

5.1.3.6. Conclusions

The application of high N doses in cv. Rocha orchards did not affect yield parameters and N concentration in the leaves since there was a high N mineral concentration in the soil, mainly ammonium-N that did not increase N uptake by the plant.

5.2. ESTUDO 2. “Resposta de pereiras à adubação fosfatada e potássica”

5.2.1. *Experimento 1. Phosphate fertilization on pear trees (Pyrus communis) cv. Rocha cultivated in altitude soil*

5.2.1.1. Abstract

Pear trees in Brazil are usually cultivated on natural phosphorus (P) deficient soils, making phosphate fertilization necessary to improve fruit quality and yield. However, P fertilization impact on nutritional plant status is not sufficiently known, neither critical P levels available in the soil and leaves. The aim of the study was to establish P critical levels in soil and leaves, in pear trees submitted to P application and cultivated in high altitude soil. Treatments consisted in the application of 0, 40, 80, 120 and 160 kg P₂O₅ ha⁻¹ year⁻¹ in a pear tree orchard. Leaves were submitted to nutrient analysis, and also fruit number, mass and yield were evaluated. Stratified soil samples were subjected to P extraction by Mehlich-1. In the last two crops (2015/16, 2016/17), fruit quality, such as peel color, ethylene production and respiration rate, were evaluated after 90 days in a controlled atmosphere storage chamber. Following 7 days under ambient conditions, epidermis color, ethylene production, respiratory rate, total titrated acidity (TTA), soluble solids (SS) and pulp firmness were also evaluated. The most economical dose of P fertilizer was calculated. The application of P₂O₅ in the soil increased P content in the soil layers, leaves and fruit. The ethylene production and respiratory rates in fruits were evaluated in the last two crops, where it was not possible to establish critical P levels in the soil. The most economical doses were 100.42, 156.11 and 114.31 kg P₂O₅ ha⁻¹ in the crops of 2013/14, 2014/15, and 2015/16 respectively.

Keywords: Available P; Leaves analysis; Fruit quality; Yield; Most economical dose.

5.2.1.2. Introduction

In Brazil, orchards from European pear cultivars such as Rocha (*Pyrus communis*), are usually cultivated in phosphorus (P) poor soils, making it necessary the use of phosphate-based fertilizer to increase fruit quality and yield. However, most of the applied P remains retained with a high-energy degree to functional groups of soil inorganic particles (DE ALMEIDA; CORRÊA; SCHMITT, 2018), and another part will be adsorbed in different levels of energy by those same groups

(ERIKSSON; GUSTAFSSON; HESTERBERG, 2015). The phosphate adsorbed with less energy may be available to plants or can migrate through the soil profile (GATIBONI et al., 2015). Nonetheless, in pear trees orchards cultivated in high altitude soils, characterized by high P adsorption capacity and high organic matter, the best P dose to obtain maximum fruit quality and yield are not well known, neither critical P levels in soil or leaves.

It is common in pear tree orchards that if fertilization is carried out after the start of fruits growth, part of applied P are upheld in soil's superficial layers (LIANG et al., 2018). Thus, part of P may be uptake to silicate mineral functional groups 1:1, as well as Fe and Al oxyhydroxides in clay fraction (Almeida et al. 2018). Since a small number of roots may be located at topsoil layer, nutrient uptake may be jeopardize (SIMONSSON et al., 2018). However, in orchard soils containing cover crops, channels or biopores may be formed increasing P mobility trough soil profile (WEI et al., 2017).

Soils with high levels of organic matter such as altitude soils, adsorption sites in reactive soil particles can be occupied by organic compounds, through organic mineralization process, increasing soil P availability and mobility (GUPPY et al., 2005). Soils with high levels of organic matter such as altitude soils, adsorption sites in reactive soil particles can be occupied by organic compounds, through organic mineralization process, increasing soil P availability and mobility (JIMÉNEZ-MORENO; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2017), positively reflecting on yield growth and on fruit quality parameters.

If P based-fertilizers truthfully increase P content in orchard soils and consequentially in their leaves, it is possible to associate P levels in soil or leaves to a specific crop yield, by establishing critical/sufficiency P levels through mathematical models (BRUNETTO et al., 2015a). However, these levels for pear tree cultivation are not sufficiently known in tropical countries like Brazil, or even in traditional producing countries (Yang et al., 2017); which substantiates the performance of soil calibration experiments that preferably evaluates more than one crop (BRUNETTO et al., 2015a).

Nevertheless, even calibration experiments carried out over several years do not guarantee P critical levels results, mostly due to their deep root system which can uptake different P formats not diagnosed by traditional soil P analysis methods (LIANG et al., 2018). On the other hand, fruit trees can also create internal P reserves over the years decreasing their nutrient dependence (LIANG et al., 2018), and in certain situations, pear trees can uptake P in higher quantities than their

demand. The accumulated amount can be stored in reserve organs as leaves, which hampers the establishment of a direct relationship between P content in the leaves and fruit yield (JIMÉNEZ-MORENO; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2017). The aim of the study was to establish P critical levels for soil and leaves in pear trees orchard cultivated in high altitude soil treated with P fertilization.

5.2.1.3. Material and methods

5.2.1.3.1. Location and treatments

The experiment was conducted in a commercial pear orchard (*Pyrus communis*), 'Rocha' cultivar, grafted on *Pyrus callieriana* rootstock, at 1250 plants ha⁻¹ density (4 m rows x 2 m inter-plants), performed under a central leader system with winter pruning, in São Joaquim (SC) (latitude 28 ° 17 '38 "S, longitude 49 ° 55' 54" W from Greenwich, 1.353 meters average altitude). The regional climate is mesothermic wet Cfb, according to Köppen classification (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), with 1360 to 1600 mm annual average precipitation and likelihood of 20 to 29 frosts along the year. Temperature (°C), precipitation (mm) and relative air humidity data were daily collected by a meteorological station at Epagri experimental station in São Joaquim (SC) (Figure 11). The orchard was set up in 2004 in a Typic Haplumbrept soil (SOIL SURVEY STAFF, 2014) described in Table 2323.

The experimental design chosen was randomized blocks implemented in October 2010, which consisted of five plants sequentially arranged in a row where the three central plants were evaluated. The treatments consisted of annual applications of 0, 40, 80, 120 and 160 kg P₂O₅ ha⁻¹ in September using triple superphosphate as P source (SFT 44% P₂O₅). Thus, from experiment implementation in 2010/2011 to 2016/2017 crop, a total of 0, 280, 560, 840 and 1120 kg P₂O₅ ha⁻¹ were applied in the soil surface incorporation and in the treetop projection area. If required, fungicides and insecticides applications were carried out following technical recommendations for the pear tree crop.

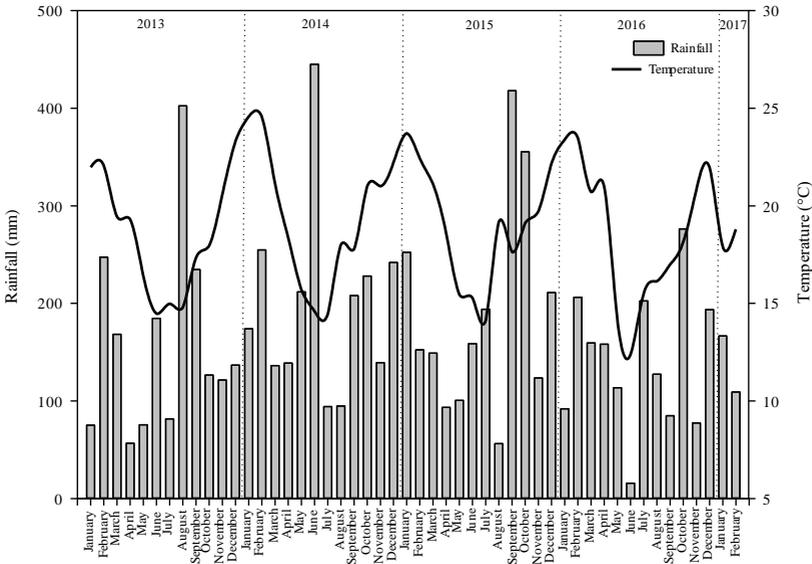


Figure 11. Average monthly rainfall (mm) and air temperature (°C) in 2013, 2014, 2015, 2016 and 2017.

The predominant cover crops in the orchard consisted in the following species: *Trifolium repens*, *Trifolium pratensis*, *Trifolium vesiculosum*, *Foeniculum vulgare*, *Chaptalia nutans*, *Lolium multiflorum*, *Vicia vilosa*, *Melinus minutiflora* and *Andropogon lateralis*. The cover crops management was carried out with periodic mowing along the vegetative and productive cycle of the pear trees, leaving the generated residues over the soil surface. The Results obtained from 2010/2011, 2011/2012 and 2012/2013 crops are presented in (BRUNETTO et al., 2015), and this study will exhibit results obtained for the other four crops (2013/2014; 2014/2015; 2015/2016 e 2016/2017).

Table 23. Physical and chemical characteristics of the soil Typic Huplumbrept at 0-0.20 m layer before the implantation of the experiment, in São Joaquim (SC).

Characteristics	
Clay (g kg ⁻¹)	450
Organic matter (g kg ⁻¹)	43.0
pH in water (relation 1:1)	6.6
Available P, extracted by Mehlich-1 (mg kg ⁻¹)	4.6
Exchangeable K, extracted by Mehlich-1 (mg kg ⁻¹)	65.0
Exchangeable Ca, extracted by KCl 1 mol l ⁻¹ (cmol _c kg ⁻¹)	9.5
Exchangeable Mg, extracted by KCl 1 mol l ⁻¹ (cmol _c kg ⁻¹)	4.0
Exchangeable Al, extracted by KCl 1 mol l ⁻¹ (cmol _c kg ⁻¹)	0.0
CEC _{pH7.0} (cmol _c kg ⁻¹)	13.0
CEC _{Efetiva} (cmol _c kg ⁻¹)	8.6
Base saturation (%)	62.5

5.2.1.3.2. Leaf collection and nutrient analysis

From the season crops of 2013/2014 to 2016/2017, on 15th of January of each year, 20 leaves were collected per plant in the middle third of the year branches, on opposite sides of the plant following CQFS-RS/SC, 2016 references. The leaves were dried in a forced air circulation incubator at 65°C, to be grounded in a Willey mill, with a 2 mm sieve, to be directed to sulfur digestion (TEDESCO et al., 1995). P concentrations were determined by spectrophotometer (Pro Analysis UV 51-00, Brazil), with 882 nanometers absorbance, according to MURPHY; RILEY (1962) method. K concentration were determined by a flame photometer (Digimed DL-62, Brazil), as Ca and Mg concentrations were established in an atomic absorption spectrophotometer (Perkin Elmer Aanalyst 200, Italy).

5.2.1.3.3. Yield and chemical analysis of fruits after harvesting and storing

The full physiological maturation of pears in all crops happened in February, in which every fruit per plant was counted, collected and weighed using a scale Shimadzu (AUY 220, Japan), in order to determine yield per plant and per hectare. In the crops season of 2015/2016 and 2016/2017, 20 fruits were randomly collected per treatment, discarding the damaged fruits, to be later stored in a refrigerated atmosphere for 90 days at a temperature of $-0,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ and $95 \pm 2\%$ RH. Sequentially, the fruits were withdrawn from the cold chamber and submitted to peel color, ethylene production, and respiratory rate analysis (Brackmann et al., 2013). These same parameters were evaluated in the fruits after 7 days under ambient

conditions (20 ± 2 ° C and $80 \pm 5\%$ RH), and analyzed pulp firmness, total titratable acidity (TFA) and soluble solids (SS) (LUTZ, 2008).

Peel color readings were determined using a portable measuring colorimeter (Konica Minolta CR 400, Japan), from average readings made in equatorial fruit area, which had their color expressed in the following variables: L, corresponding to the luminosity (brightness, clarity or reflectance; 0 = dark/opaque and 100 = white); C, Chroma (color saturation or intensity, 0 = impure color and 60 = pure color); and H, Hue angle (color angle, 0 ° = red, 180 ° = green, 270 ° and 360 ° = black). Ethylene fruit production was determined by gas chromatography, where fruits were individually allocated in a hermetically sealed 5L container for approximately 1 hour. Then, two 1.0 mL gas samples were subsequently injected into a chromatograph (Varian®, Star CX3400, Palo Alto, USA) with a flame ionization detector (FID) and a Porapak column N80/100 with controlled temperature (90, 140 and 240 ° C). The ethylene production was expressed in nmol of ethylene $\text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$. The respiratory rate was measured considering the amount of CO_2 generated by the fruits inside an electronic gas analyzer (Isocell®), expressed in $\text{mL CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$.

The TTA was performed by processing the fruits in a centrifuge (Philips walitta, Brazil) for manual titration. Ten milliliters of the fruit juice extract obtained was pipetted, and then 100 ml of distilled water was added to be titrated with NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ until pH 8.1. The SS contents were obtained using a manual refractometer (Atago, Master α , Japan), and expressed in °Brix units. The pulp firmness was measured with an automatic penetrometer (Effegi Systems, Milan, Italy), and expressed in Newton (N). The penetrometer readings were performed at two opposed locations in the equatorial region of the fruits after the peel removal with an 8.0 mm diameter tip.

5.2.1.3.4. Soil collection

Soil samples were collected annually in 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.0-0.20 in the treetop projection area. The soil was air-dried, macerated, sieved in a 2 mm mesh and prepared for P availability analysis by Mehlich-1 extraction ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) (TEDESCO et al., 1995). P concentrations were determined in a spectrophotometer (Pro Analysis UV 51-00, Brazil), with 882 nanometers absorbance, according to MURPHY; RILEY (1962) method.

5.2.1.3.5. Statistical analyzes

The polynomial regression equations were adjusted for the soil P content, leaf nutrient composition, fruit yield (number, fruit mass, yield per plant and hectare) and fruit quality (peel color, ATT, SST, pulp firmness, ethylene production and respiratory rate), when there was a significant effect of variance analysis. In addition, P content at soil depths of 00-0.10 and 0.10-0.20 m were subjected to variance analysis within the same dose (0, 40, 80, 120 e 160 kg P₂O₅ ha⁻¹) and when there was a significant effect, the comparison of means was performed using the Tukey test ($p < 0.05\%$).

The calculation of P critical levels in the soil and leaves was determined by a mathematical fit between variables using the Mitscherlich model (Equation 5 and 6):

$$\text{Equation 5} \qquad \qquad \qquad ry = (rt/rm) * 100$$

Where: ry is the relative yield, rt is treatment yield and rm is the crop maximum yield.

$$\text{Equation 6} \qquad \qquad \qquad \hat{y} = a(1 - b^x)$$

Where: \hat{y} represent ry ; a and b are constants, and x is soil nutrient content or concentration in the leaves.

The most economical doses of P fertilizer was calculated according to NATALE et al. (1996). It was considered the average price of a fresh kilogram sold US \$ 1.44 (CEASA, 2018), and superphosphate triple of US \$ 0.49 (INFOAGRO, 2019), regarding the price average from the last six months of 2018. In order to set values according to the fruits exchange rate fluctuation and to have a more stable data, a relation of exchange was chosen instead of the current currency. In this sense, "currency" used in the calculations was the "pear" itself, considering the following equivalence relationship: triple superphosphate - kg (0.49) / pear paid - kg (1.44) = (0.34). The most economical dose was calculated from the derivative regression equation between applied FTS doses and fruit yield, making it equal to the exchange ratio (Equation 7):

$$\text{Equation 7} \qquad \qquad \qquad dy/dx = a1 + 2 ax = \text{exchange ratio}$$

Where: most economical dose (x') is calculated by $x' = a1 - \text{exchange ratio} / 2 . (-a2)$.

5.2.1.4. Results and Discussion

5.2.1.4.1. P content in soil and leaves

Available P content increased in a quadratic manner along with P doses applied in all soil layers (0.0-0.10, 0.10-0.20.0 and 0.0-0.20 m) and during all evaluated crops (Table 2424). P increment in the layer 0.0-0.10 m was 0.18, 0.73 and 0.82 mg P for each kg P₂O₅ applied in 2013/2014, 2015/2016 and 2016/2017 crops, respectively. Available P content in all soil layers increased quickly between crops, with the last season (2016/2017) having the highest content identified. This data probably indicates that part of P uptaken may have returned to the soil by deposition of pruned branches and senescent leaves (PICCIN et al., 2017a, 2017b), or perhaps the pear tree had a low P fruit export. Moreover, P losses are generally small in the pear tree orchards, happening mainly due to surface runoff.

Meanwhile, the highest available P contents were confirmed in layer (0.0-0.10 m) (Table 2424), chiefly because P doses application were carried out on undisturbed soil surface and due to high soil P adsorption capacity (compounded by 1:1 clay minerals, Fe and Al oxyhydroxides) (DE ALMEIDA; CORRÊA; SCHMITT, 2018; DE OLIVEIRA et al., 2014). Thus, part the P applied since the first crop may have migrated up to 10-20 cm from the evaluated layer, possibly due to partial saturation of the reactive inorganic functional groups particles. Those groups can reduce soil adsorption energy but can increase its desorption, and consequently, increasing P soil solution concentration (GUPPY et al., 2005). However, part of the P content can follow downward water flow in the soil profile, mainly in biopores/channels made by organisms, but also by senescent roots (WEI et al., 2017).

Soil P migration may also have been favored due to occlusion of adsorption sites by organic compounds, derived from high soil organic matter mineralization (43 g kg⁻¹), and from decomposed plant residues, either from pruned plant aerial part or by senescent roots (CUI et al., 2015; GUPPY et al., 2005). Still, cover crops species or even pear trees may have uptaken part of the P applied, increasing P concentration in this roots, leaves and fruits. Those roots with elevated P content, can grow and senesce, increasing P content soil layers (Yang et al., 2017).

Leaves P concentration increased in all evaluated crops (Table 24) following the applied P doses in the soil. P fertilization increased its availability and consequentially, P uptake to annual organs, when they are going through an intense cellular division and elongation in aerial

part (MARSCHNER, 2012). It should be noted that the lowest P concentrations in the leaves were observed in the first crop (2013/2014) while the highest was perceived in the last crop (2016/2017).

Table 24. Available P content in soil layers, leaf nutrient concentration, fruit number and weight, production per plant in pear trees submitted to P application.

Rate	Available P			Leaf concentration				N° fruits per plant ¹	Fruit weight	Yield
	0.0-0.10 m	0.10-0.20 m	0.0-0.20 m	P	K	Ca	Mg			
kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹				g	kg per plant ⁻¹	
----- 2013/2014 crop -----										
0	5.2 ^{(1)*} a ^(***)	3.8 ^{(2)*} b	4.5 ^{(3)*}	1.5 ^{(4)*}	na	na	na	34 ^{(5)*}	191.0 ^b _s	6.4 ^{(6)**}
40	6.7 a	4.6 b	5.7	1.9	na	na	na	32	195.0	6.2
80	11.7 a	6.2 b	9.8	2.0	na	na	na	40	188.0	7.7
120	23.3 a	8.0 b	16.1	2.0	na	na	na	52	190.0	10.1
160	34.6 a	11.5 b	19.6	2.1	na	na	na	33	192.0	6.4
CV(%)	15.3	9.7	10.0	7.9	-	-	-	10.2	7.7	13.7
----- 2014/2015 crop -----										
0	29.4 ^{(7)*} a	31.2 ^{(8)*} a	18.9 ^{(9)**}	2.7 ^{(10)**}	2.5 ^{ms}	22.7 ^s	2.3 ^{(11)*}	17 ^{(12)*}	166.0 _{ns}	2.8 ^{(13)*}
40	44.3 a	33.3 b	27.4	2.7	2.6	22.0	2.6	16	173.0	2.7
80	39.8 a	29.7 b	25.7	2.8	2.3	20.7	2.6	30	182.0	5.5
120	60.0 a	42.8 b	26.2	2.7	2.4	20.5	2.7	21	165.0	3.5
160	60.4 a	37.2 b	24.8	2.9	2.5	21.7	4.3	28	176.0	5.0
CV(%)	9.3	8.1	13.4	4.8	10.7	5.3	7.4	16.6	10.1	18.0
----- 2015/2016 crop -----										
0	22.6 ^{(14)*} a	22.6 ^{(15)*} a	3.77 ^{(16)*}	2.6 ^{(17)**}	2.2 ^{(18)**}	23.7 ^{ms}	2.3 ^{(19)*}	18 ^{(20)**}	157.1 ^b _s	2.8 ^{(21)*}
40	30.2 a	27.4 b	10.3	2.6	2.4	23.0	2.4	19	160.3	3.1
80	63.4 a	38.8 b	18.4	2.7	2.4	22.0	2.4	34	140.5	4.7
120	103.3 a	49.0 b	34.0	2.7	3.1	20.0	2.5	25	157.5	4.0
160	132.1 a	43.1 b	66.4	2.8	2.6	20.7	3.8	27	150.4	4.1
CV(%)	10.8	7.7	20.1	2.9	11.9	10.9	9.4	19.8	9.6	22.3
----- 2016/2017 crop -----										
0	33.0 ^{(22)*} a	29.5 ^{(23)*} b	33.1 ^{(24)*}	4.1 ^{(25)*}	2.9 ^{ms}	22.7 ^{ms}	2.2 ^{(26)*}	11 ^{(27)**}	165.3 ^b _s	2.0 ^{(28)**}
40	39.5 a	32.0 b	78.6	5.4	2.9	23.0	3.8	14	162.6	2.3
80	66.1 a	44.7 b	115.9	5.8	3.0	23.5	2.8	12	161.2	2.0
120	114.3 a	59.0 b	128.7	3.7	2.8	22.6	5.8	16	162.7	2.5
160	159.7 a	60.0 b	149.8	4.9	2.8	23.0	5.7	19	163.2	3.1
CV(%)	9.9	6.2	8.4	7.7	13.3	5.8	7.9	15.2	6.8	16.8

⁽¹⁾y= 1.22+ 0.1885x² (R²=0.92); ⁽²⁾y=3.06+0.0470x (R²=0.94); ⁽³⁾y=3.02+0.1015x (R²=0.96); ⁽⁴⁾y=1.61+0.007x-0.00002x² (R²=0.90); ⁽⁵⁾y=29.68+0.28x-0.001x² (R²=0.38); ⁽⁶⁾y=5.74+0.05x-0.0002x² (R²=0.38); ⁽⁷⁾y=30.67+0.22x-0.0001x² (R²=0.84); ⁽⁸⁾y=30.75-0.04x+0.00005x² (R²=0.41); ⁽⁹⁾y=19.95+0.15x-0.0008x² (R²=0.75); ⁽¹⁰⁾y=2.70-0.0005+0.00001x² (R²=0.57); ⁽¹¹⁾y=2.49-0.009x+0.0001x² (R²=0.86); ⁽¹²⁾y=15.62+0.12x-0.0003x² (R²=0.46); ⁽¹³⁾y=2.63+0.02x-0.00007x² (R²=0.41); ⁽¹⁴⁾y=11.88+0.7308x (R²=0.97); ⁽¹⁵⁾y=20.42+0.31x-0.001x² (R²=0.89); ⁽¹⁶⁾y=5.24-0.05x+0.002x² (R²=0.99); ⁽¹⁷⁾y=2.63-0.00008+0.00001x² (R²=0.95); ⁽¹⁸⁾y=23.98-0.03x+0.00008x² (R²=0.87); ⁽¹⁹⁾y=2.39-0.009x+0.0001x² (R²=0.87); ⁽²⁰⁾y=16.59+0.22x-0.001x² (R²=0.56); ⁽²¹⁾y=2.67+0.02x-0.0001x² (R²=0.70); ⁽²²⁾y=16.88+0.8205x (R²=0.93); ⁽²³⁾y=27.23+0.23x-0.00007x² (R²=0.93); ⁽²⁴⁾y=34.15+1.18x-0.003x² (R²=0.98); ⁽²⁵⁾y=4.41+0.01x-0.0001x² (R²=0.15); ⁽²⁶⁾y=2.33-0.01x+0.00003x² (R²=0.74); ⁽²⁷⁾y=12.46-0.01x+0.0003x² (R²=0.83); ⁽²⁸⁾y=2.07-0.003x+0.00005x² (R²=0.83). na = not analyzed; ^m = not significant; ^s = significant at 5 % probability; ^{**} = significant at 1 % probability; ^(***) Means followed by the same letter in the line. for each depth were not different by Tukey's test (p < 0.05).

Lower P concentrations in the leaves may be a result of resident P redistribution from leaves to fruits, as the highest yield was observed in 2013/2014 crop. On the other hand, the lowest fruit yield was verified in 2016/2017 crop, indicating a possibly small P redistribution from leaves to the fruits.

P leaves concentrations in 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 crops were considered normal (0.15-0.30%) (CQFS-RS/SC, 2016). In 2016/2017 crop, P concentrations were higher than expected for this interpretation range, but CQFS-RS/SC (2016) recommendation does not withstand any interpretation to values greater than 0.30%. Therefore, most probably in this crop occurred the luxury consumption of P, where uptaken and accumulated P amounts were greater than plant demand. Part of P uptaken was accumulated in inorganic and organic forms such as metabolically active P in cytoplasm, which is associated to RNA and DNA or in storage organelles such as vacuole, or even in annual and perennial organs (MARSCHNER, 2012; PICCIN et al., 2017a). If P accumulation occurs in organic forms in perennial organs, part of can be redistributed to annual organs in the next vegetative-productive cycle, decreasing plant's demand for P derived from soil and fertilization (PICCIN et al., 2017a, 2017b).

K concentrations in the leaves were not affected by P doses in all evaluated crops (Table 24), interpreted as standard K and Ca concentrations ($K = 1.30-1.50\%$, $Ca = 1.20-1.70\%$) (CQFS-RS/SC, 2016). However, Mg concentrations in leaves that remained steady during the first three studied crops were interpreted as above normal in the 2016/17 season along with the highest P dose applied (120 e 160 kg P_2O_5 ha^{-1}). Probably, this might be a result of P fertilization that may have stimulated root and aerial part growth, increasing transpiration, and Mg transportation. The increase of leaf area demands a higher Mg uptake due to the plant necessity to perform more photosynthesis since Mg is part of the chlorophyll molecule along with N (MARSCHNER, 2012).

5.2.1.4.2. Fruit yield, most economical dose, and critical soil and leaves P levels

The fruit number per pear tree increased according to P dose in all crops evaluated, since the most economical dose was 140, 200, 110 and 170 kg P_2O_5 ha^{-1} from the season crops of 2013/2014 to 2016/2017 (Table 24). It can be explained by P effect on pear trees reproductive development, which can increase the number of inflorescences and fruits (JIMÉNEZ-MORENO; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2017).

In addition, fruit yield increase did not affect fruit mass, indicating that the rise of P availability in soil and its consequent increase inside the pear tree had a positive impact mainly on fruit number. One possible explanation portrays that soil under natural conditions, without P fertilization, has high P adsorption capacity decreasing its availability (DE OLIVEIRA et al., 2014). However, it is worthy to emphasize that the studied orchard soil has a shallow surface horizon, which hinders a more profound root growth and therefore, having a higher root concentration in the topsoil layer (BALDI et al., 2010b). Thus, P forms in the soil profile tend to be poorly accessed by plant roots, which make fruits more dependent on applied P in annual adulations (GUPPY et al., 2005; SIMONSSON et al., 2018).

The most economical dose was calculated for four crops from 2013/2014 to 2016/2017. In the first three crops, the response curve to the P fertilizer was quadratic (Figure 12) and, by using regression equations shown in NATALE et al. (1996), the highest fertilizer dose of 013/14 crop was: $x' = (64.61 - 0.34) / (2 \times 0.32) = 100.42 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (or divided by 1250 plants/ha⁻¹ = 80.3 g P₂O₅/plant). The estimated income due to P fertilization can be calculated by yield increase (8043.85 kg fruits/ha⁻¹), fertilizer cost (34 kg fruits/ha⁻¹) and by the revenue obtained (7943 kg fruits/ha⁻¹). The same system was used for 2014/15 and 2015/16 season crops, where the most economical dose was 156.11 and 114.31 kg P₂O₅ ha⁻¹, and the revenue obtained was 3339 and 3384 kg pear ha⁻¹, respectively.

In the 2016/17 crop, the relationship between the increase of the P₂O₅ doses and the fruit yield was linear, not allowing the calculation of the most economical dose. The fertilizer cost represents less than 0.43% of the crop yield in 2013/14; 1.6% in the 2014/15 crop and 1.13% in the 2015/16 crop, which clearly compensates the use of phosphate fertilizer in the orchard.

Another relationship was established between relative pear fruits yield and available P content at soil depths 0.0-0.10 and 0.0-0.20 m (Figure 13ab), as well as P concentrations in leaves (Figure 13c). However, it was not possible to determine critical P levels in soil and leaves from the Mitscherlich model. Failure to obtain critical P levels in the soil probably occurred because pear tree roots explored deeper soil layers by accessing P forms which are not diagnosed by the Mehlich-1 method (BRUNETTO et al., 2015b; NIEVES-CORDONES et al., 2014). Another possible explanation is that internal pear trees P reserve make them less dependent on P fertilization (JIMÉNEZ-MORENO; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2017).

In this study, it was not possible to obtain nutrient critical levels in the soil and leaves, perhaps due to leaves collection period. February is the official recommendation month for leaves collection proposed by CQFS-RS/SC (2016), which is considered a nutrient redistribution period from the leaves to fruits or to perennial organs reserves such as branches, stems and roots (PICCIN et al., 2017a, 2017b).

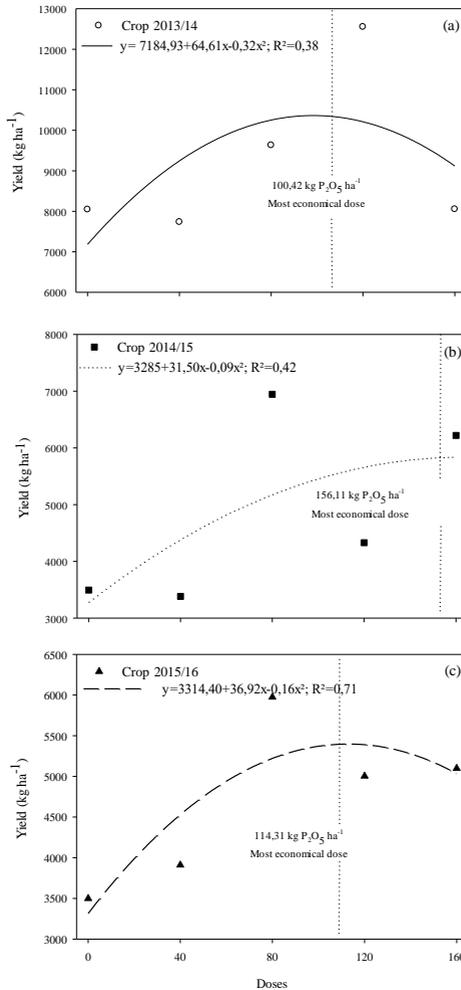


Figure 12. Relationship between of triple superphosphate (P_2O_5) doses and yield in the period from (a) crop 2013/14; (b) crop 2014/15 and (c) crop 2015/16, to establish the most economical dose.

However, the most appropriate harvesting season for leaves would be in another phenological stage such as the blossoming season, where new roots are generated increasing water and nutrients uptake. The rise of P concentration inside the pear tree as a result of root growth leads to a higher gradient between P concentrations allowing to set P critical levels by mathematical models (BRUNETTO et al., 2015a).

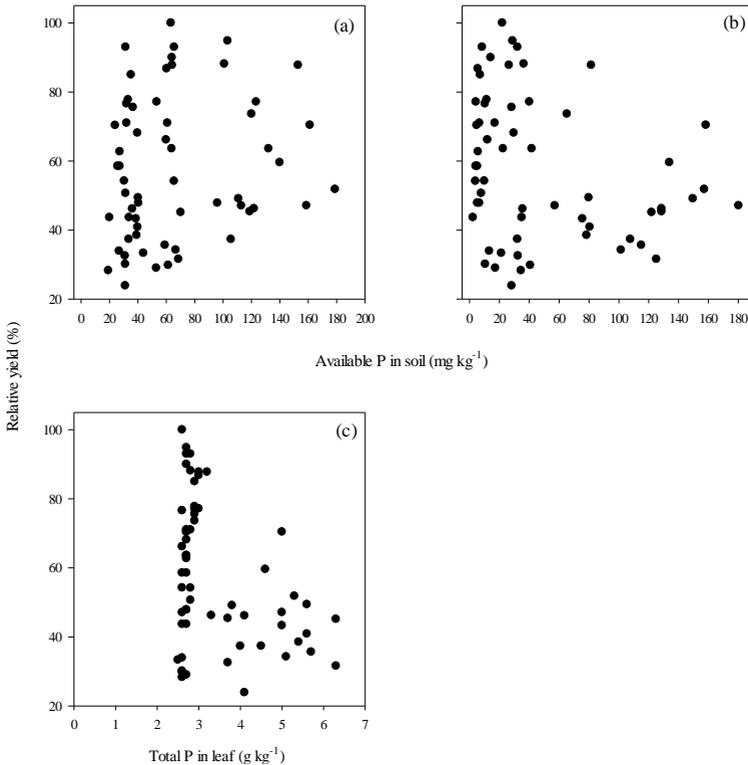


Figure 13. Relation between available P content, in crop 2013/2014 to 2016/2017, in the 0.0-0.10 m soil layer and the relative yield of the pear trees (a); relation between the available P content in the 0.0-0.20 m soil layer and the relative yield of the pear trees (b); relation between the total P content in the leaf and the relative yield of the pear trees (c).

5.2.1.4.3. Fruit Quality

The application of P doses in the soil only increased fruit ethylene production and respiratory rate after 7 days of storage in ambient conditions at 20°C in the 2016/2017 crop Table 25. Quality parameters of pear (cv. Rocha) submitted to P doses after 90 days of refrigerated storage and after 7 days at ambient conditions in the 2015/2016 and 2016/2017 crop season. (Table 25). The Ethylene acted as a P-type ATPase modulator regulating solutes transportation during fruit climacteric (GÉNARD; GOUBLE, 2005). Therefore, when fruits left the cold chamber, there was a patent increase in respiratory rate triggered by ethylene phytohormone (BOTTON; TONUTTI; RUPERTI, 2018).

Table 25. Quality parameters of pear (cv. Rocha) submitted to P doses after 90 days of refrigerated storage and after 7 days at ambient conditions in the 2015/2016 and 2016/2017 crop season.

P dose (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ year ⁻¹)	Peel color (°h)	Pulp firmness (N)	Titratable acidity (%)	Soluble solids (°Brix)	Ethylene production (µmol C ₂ H ₄ kg ⁻¹ s ⁻¹)	Respiration rate (µmol CO ₂ kg ⁻¹ s ⁻¹)	Rotten fruit (%)
----- 2015/2016 crop -----							
After 90 days of refrigerated storage							
0	63.4 ^{ns}	na	na	na	20.6 ^{ns}	11.3 ^{ns}	20 ⁽³⁾
40	63.5	na	na	na	20.7	13.7	3
80	65.4	na	na	na	17.4	13.8	5
120	64.1	na	na	na	18.1	12.2	4
160	63.7	na	na	na	15.5	12.5	15
CV(%)	4.2	-	-	-	23.6	11.5	23.5
After 7 days at ambient at 20°C							
0	66.5 ^{ns}	93.5 ^{ns}	2.0 ^{ns}	12.3 ^{ns}	11.5 ^{ns}	14.5 ^{ns}	11 ^{ns}
40	64.1	101.1	2.1	12.9	10.9	18.8	1
80	66.4	102.1	2.2	13.0	8.6	23.6	5
120	67.4	100.9	2.1	12.7	10.3	16.5	3
160	66.0	98.7	1.9	12.5	10.0	15.0	5
CV (%)	5.1	4.7	13.5	5.3	24.1	30.4	29.5
----- 2016/2017 crop -----							
After 90 days of refrigerated storage							
0	67.5 ^{ns}	na	na	na	3.8 ^{ns}	5.7 ^{ns}	13 ⁽⁴⁾
40	71.3	na	na	na	4.2	5.3	0
80	68.0	na	na	na	4.0	5.0	0
120	67.0	na	na	na	4.2	6.7	0
160	68.0	na	na	na	3.0	4.5	10
CV(%)	3.0	-	-	-	19.2	8.5	34.3
After 7 days at ambient at 20°C							
0	na	55.9 ^{ns}	2.3 ^{ns}	12.0 ^{ns}	15.7 ⁽¹⁾	15.7 ⁽²⁾	20 ⁽⁵⁾
40	na	61.8	2.0	12.1	33.7	22.7	1
80	na	58.8	2.0	12.0	30.0	18.0	4
120	na	61.8	2.0	12.2	36.2	20.7	0
160	na	63.7	2.0	12.8	26.7	18.0	16
CV (%)	-	9.6	10.9	1.0	19.2	14.2	21.5

⁽¹⁾y=17.17+0.38x-0.002x². (R²= 0.80*); ⁽²⁾y=16.83+0.09x-0.0005x². (R²=0.37); ⁽³⁾y=19.34-0.42x+0.002x². (R²=0.88); ⁽⁴⁾y=11.92-0.33x+0.002x². (R²=0.94); ⁽⁵⁾y=19.10-0.47x+0.002x²@ (R²=0.88) ^{ns}= not significant; * = significant at 5 % de probability; na = not analyzed.

It should be noted that ethylene concentration had increased into intercellular spaces and fruit respiration began to correlate with the pathway of cyanide-resistant electrons, which happens because of oxidase activity and to type b and c cytochromes. The respiratory rate was substantial after 90 days in a cold room in a possible reaction to CO₂ injected into storage chambers. The increase of ethylene production and respiratory rate after 7 days under ambient conditions can also be for internal CO₂ concentration (GWANPUA et al., 2016; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Further parameters of fruit quality analyzed in 2015/2016 and 2016/2017 season crops were not affected by P soil fertilization.

5.2.1.5. Conclusions

P fertilizer applications in pear trees orchard soil increased P content in all soil layers and on internal plants reserves, which was diagnosed by P increase in the leaves that reflected a higher yield, but with low impact on fruit quality. The most economical doses were close to the highest P doses of 120 and 160 kg P₂O₅ ha⁻¹.

5.2.2. *Experimento 2. Produtividade e qualidade de frutos em de pereiras (Pyrus communis) com longo histórico de aplicações de potássio no solo*

5.2.2.1. **Resumo**

Os diferentes tipos de potássio (K) presentes no solo, como o potássio trocável, nem sempre suprem a demanda das pereiras por nutriente, o que torna necessário a utilização de fertilizantes a base de potássio. O estudo teve como objetivo avaliar o impacto da adubação potássica sobre a produtividade e qualidade de peras, a fim de estabelecer os níveis críticos de K no solo e tecido. Os tratamentos realizados foram a aplicação de 0, 40, 80, 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹ ano⁻¹ durante quatro safras (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017). A quantidade e massa de frutos, a produção e produtividade nas safras foram avaliados, assim como as folhas que foram submetidas à análise de nutrientes. Amostras estratificadas de solo foram coletadas, preparadas e submetidas à extração de K trocável por Mehlich-1. Nas duas últimas safras também foram avaliadas a coloração da casca, produção de etileno e a taxa respiratória, após 90 dias na câmara de armazenamento com atmosfera controlada. Após armazenadas, as peras foram submetidas à vida de prateleira, e após 7 dias foram avaliados a cor da epiderme, produção de etileno, taxa respiratória, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS) e firmeza de polpa. As aplicações superficiais de adubação potássica em pomares de pereira, aumentaram os conteúdos de K trocável no solo especialmente na sua camada superior. Porém, nem sempre o incremento de K trocável no solo esteve associado ao aumento da concentração de K nas folhas e em produtividade de frutos. A dose mais econômica de potássio foi de 45,40 kg K₂O ha estabelecida na safra de 2016/17, não sendo possível estimar os níveis críticos de K no solo e em folhas de pereiras em produção. Os frutos derivados de pereiras submetidas às maiores doses de K apresentaram os menores valores de produção de etileno e taxa respiração, o que resulta no aumento de tempo de armazenamento em câmara fria e em prateleira.

Palavras chave: K trocável, K em folhas, dose mais econômica, nível crítico.

5.2.2.2. **Introdução**

O conteúdo de potássio (K) trocável presente no solo nativo, nem sempre supre a demanda de árvores frutíferas como as pereiras

(*Pyrus communis*), especialmente por ser o nutriente exportado em maior quantidade pelos frutos. Por isso, normalmente a aplicação de fertilizantes potássicos industrializados ou de fontes orgânicas se faz necessário. Em sistemas de recomendação de adubação a necessidade de aplicação e a dose de K, normalmente podem ser definidas considerando: (i) o conteúdo de K disponível por algum método de calibração do solo, (ii) os valores de capacidade de troca de cátions ($CTC_{pH7,0}$), (iii) a concentração de K em folhas, e (iv) a expectativa de produtividade da cultura (BRUNETTO et al., 2015a; KAMINSKI et al., 2010).

A recomendação de manutenção de potássio no solo para a cultura de pereira é de $2,5 K_2O \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na região Sul do Brasil (SC e RS), e foi estabelecida considerando a expectativa de produtividade e o conteúdo de K em frutos (CQFS-RS/SC, 2016). No entanto, são escassas as pesquisas sobre respostas de pereiras à adubação potássica, níveis críticos de K no solo e folhas, ou mesmo quais são as doses mais econômicas a serem utilizadas.

A aplicação de fertilizantes potássicos em pomares em produção, normalmente é realizada sobre a superfície do solo, sem incorporação e na projeção da copa das plantas, pois nesta região existe menor possibilidade de ocorrência de raízes finas (NIEVES-CORDONES et al., 2014; ZALAMENA et al., 2013). Parte do K aplicado via fertilizante tende a ser adsorvido aos grupos funcionais de superfície de partículas reativas do solo (MONTES et al., 2016; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Entretanto, como os grupos funcionais de superfície ficam fora da esfera de coordenação do K, a ligação deste com os colóides do solo é apenas uma atração eletrostática, ou seja, de menor energia (MCBRIDE, 1989).

Desta forma, caso ocorram precipitações elevadas ou a saturação de alguns sítios de adsorção, parte do K aplicado poderá movimentar-se para as camadas mais profundas do perfil de solo, facilitando sua aproximação e absorção pelo sistema radicular (BALDI et al., 2010b; NIEVES-CORDONES et al., 2014; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Caso isso aconteça, poderá haver incremento de K no interior da pereira, o que poderá ser diagnosticado através da análise foliar (MONTES et al., 2016; RUIZ, 2006). Assim, espera-se o incremento na produção de frutos, especialmente em anos de maior produtividade, em que a demanda e exportação de K pelos frutos é elevada (MARTIN et al., 2015; NETO et al., 2011).

No caso de solos com elevado conteúdo de K trocável e baixa produtividade de frutos, é possível deduzir que houve um acúmulo de K

no solo ou na planta devido à baixa exportação via fruto. Essa condição implica em uma maior disponibilidade de K na solução do solo, o que por consequência aumenta a facilidade de contato do K com a superfície externa das raízes. Assim, pode ocorrer uma redução da absorção de outros cátions pelas raízes, como o cálcio (Ca) ou o magnésio (Mg), já que o K poderá competir pelos mesmos sítios de absorção (LI et al., 2018; NETO; CARRANCA; CLEMENTE, 2009; WEI et al., 2017).

Desta forma, a absorção de K por pereiras poderá interferir no conteúdo interno dos tecidos vegetais e dos frutos, podendo afetar parâmetros de qualidade como: (i) coloração da casca, (ii) sólidos solúveis (SS), (iii) firmeza de polpa, (iv) acidez total titulável (ATT), (v) produção de etileno e (vi) respiração (CUQUEL et al., 2011; JACOMINO; MENDONÇA; KLUGE, 2005). Porém, nos solos com altos teores de matéria orgânica, a dinâmica de absorção de K no solo e nas folhas é pouco conhecida, assim como a resposta produtiva das pereiras e seus respectivos parâmetros de qualidade de fruto.

O estudo teve como objetivo avaliar o impacto da adubação potássica sobre a qualidade e produtividade de pereiras com um longo histórico de adubação de K, a fim de estabelecer níveis críticos de K no solo e folhas.

5.2.2.3. Material and methods

5.2.2.3.1. Área experimental e descrição dos tratamentos

O experimento foi realizado em um pomar de pereiras (*Pyrus communis*), cultivar ‘Rocha’, enxertada sobre o porta enxerto *Pyrus callieriana*, em São Joaquim, Estado de Santa Catarina, Região Sul do Brasil (latitude 28° 17' 38" S, longitude de 49° 55' 54" W de Greenwich, altitude média de 1.353 metros). O clima da região é mesotérmico úmido Cfb, segundo classificação de Köppen (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), com precipitação média anual de 1360 a 1600 mm, e possibilidade de ocorrência de 20 a 29 geadas ao longo do ano.

Os dados de temperatura média mensal (°C) e precipitação acumulada mensal (mm) observados ao longo da condução do experimento estão apresentados na (Figura 14). O pomar estudado foi implantado em 2004 em um Cambissolo Húmico (SANTOS, 2013) ou Typic Dystrudepts (SOIL SURVEY STAFF, 2014), sendo suas características apresentadas na (Tabela 26). As pereiras foram conduzidas no sistema de condução líder central, com espaçamento de 2 metros entre plantas e 4 metros entre linhas (densidade de 1250 plantas por hectare).

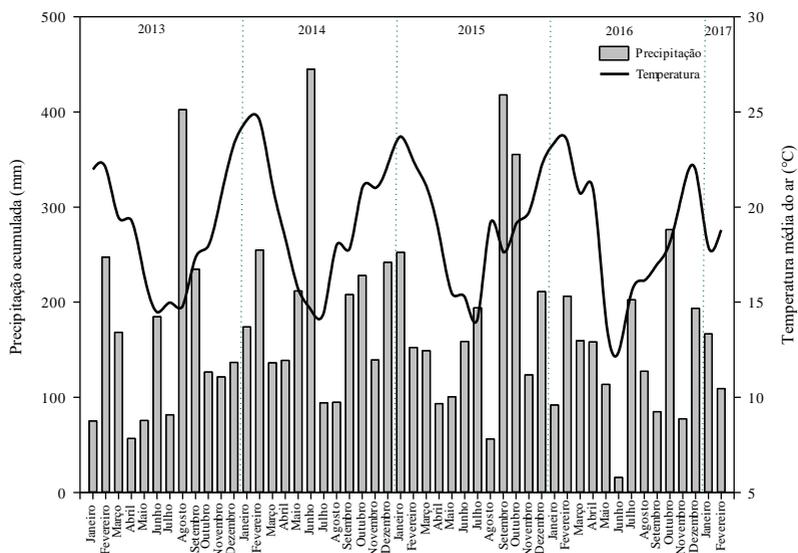


Figura 14. Médias de precipitação acumulada (mm) e temperatura média do ar (°C) observadas mensalmente durante as safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso composto por quatro plantas, sendo as duas plantas centrais avaliadas. A aplicação anual dos tratamentos foi iniciada em outubro de 2010 se estendendo até o término do experimento. A fonte de K foi o cloreto de potássio (KCl 60% de K_2O), e os tratamentos foram aplicações em doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg K_2O ha^{-1} ano^{-1} .

As avaliações ocorreram nas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Assim, a quantidade total de K_2O ha^{-1} aplicada em cada tratamento no experimento desde a sua implantação foi respectivamente de 0, 280, 560, 840 e 1120 kg. A aplicação do KCl foi sempre realizada após a colheita, sobre a superfície do solo e sem incorporação e na área de projeção da copa das plantas. O manejo fitossanitário foi realizado segundo as recomendações técnicas para a cultura de pera (SANTOS; NAVA, 2016).

Tabela 26. Características físicas e químicas de um solo Cambissolo húmico na camada 0,0-0,20 m, antes da implantação do experimento em pomar de pereira, em São Joaquim (SC), Sul do Brasil.

Parâmetros	
Argila, método da pipeta (g kg ⁻¹)	360
Matéria orgânica, método Walkley-Black (g kg ⁻¹)	48,0
pH em água (relação 1:1)	5,5
P disponível, extrator Mehlich-1 (mg kg ⁻¹)	6,2
K trocável, extrator Mehlich-1 (mg kg ⁻¹)	76,0
Ca trocável, extrator KCl 1 mol ⁻¹ (cmol _c kg ⁻¹)	6,6
Mg trocável, extrator KCl 1 mol ⁻¹ (cmol _c kg ⁻¹)	2,8
Al trocável, extrator KCl 1 mol ⁻¹ (cmol _c kg ⁻¹)	0,0
CTC _{ph7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	13,5
CTC _{efetiva} (cmol _c kg ⁻¹)	9,6
Saturação por bases (%)	71,2

As plantas de cobertura presentes no pomar constituíam-se das seguintes espécies: trevo branco (*Trifolium repens*), trevo vermelho (*Trifolium pratensis*), trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*), funcho (*Foeniculum vulgare*), língua de vaca (*Chaptalia nutans*), azevém (*Lolium multiflorum*), ervilhaca comum (*Vicia vilosa*), capim gordura (*Melinis minutiflora*) e capim caninha (*Andropogon lateralis*). O manejo das plantas de cobertura foi realizado com roçadas periódicas ao longo do ciclo vegetativo e produtivo das pereiras, deixando os resíduos gerados sobre a superfície do solo.

5.2.2.3.2. Coleta de folhas e análise de nutrientes

Durante as safras de 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, no 15º dia de janeiro de cada ano foram coletadas 20 folhas completas por planta, no terço médio dos ramos do ano, em lados opostos na planta, seguindo as recomendações propostas pela CQFS-RS/SC (2016). As folhas foram secas à 65°C em estufa com circulação de ar forçado e posteriormente, moídas em moinho do tipo Willey com peneira de 2 mm para serem submetidas a digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995). A destilação de N total foi realizada em destilador do tipo micro-Kjeldahl (Tecnal, TE-0364, Brasil).

A determinação de P total no extrato foi efetuada conforme metodologia proposta por Murphy e Riley (1962), a 662 nm em espectrofotômetro de UV-visível (Pró-análise, UV 51-00, Brasil). A concentração de K total no extrato foi realizada em fotômetro de chama (Digimed, DM-62, Brasil). As concentrações de Ca e Mg foram

determinadas em espectrometria de absorção atômica (Perkin Elmer, AAnalyst 200, Itália).

5.2.2.3.3. Produção e análise de qualidade de frutos após a colheita e armazenamento

A plena maturação fisiológica das peras em todos as safras ocorreu no mês de fevereiro, em que todos os frutos de cada pereira foram contados, coletados e pesados com uma balança modelo Shimadzu (AUY 220, Japão), com o intuito de determinar a produção por planta e por hectare. Nas safras 2015/2016 e 2016/2017, 20 frutos foram coletados aleatoriamente por tratamento retirando as frutas lesionadas, para em seguida serem armazenadas em atmosfera refrigerada durante 90 dias sob temperatura de $-0,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e UR de $95 \pm 2\%$. Após a saída dos frutos da câmara fria, os mesmos foram submetidos às avaliações de cor da casca, produção de etileno e taxa respiratória (BRACKMANN et al., 2013). Esses mesmos parâmetros foram avaliados nas frutas após sete dias sob condição ambiente ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 5\%$ de UR), e na sequência determinados a firmeza de polpa, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis (SS) (LUTZ, 2008).

A cor da casca foi determinada usando um colorímetro de medição portátil (Konica Minolta CR 400, Japão) a partir da média de leituras efetuadas na região equatorial dos frutos, a qual teve a cor expressa nas variáveis: L, correspondente a luminosidade (brilho, claridade ou reflectância; 0 = escuro/opaca e 100 = branco); C, o Chroma (saturação ou intensidade de cor; 0 = cor impura e 60 = cor pura); e H, o ângulo Hue (ângulo da cor; 0° = vermelho; 180° = verde; 270° e 360° = negro). A produção de etileno dos frutos foi determinada por cromatografia gasosa, onde os frutos foram alocados individualmente em um recipiente hermeticamente fechado com capacidade de 5L por aproximadamente uma hora. Em seguida, foram retiradas com o auxílio de uma seringa, duas amostras de gás de 1,0 mL posteriormente injetadas em um cromatógrafo (Varian®, Star CX3400, Palo Alto, EUA) com detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100 com temperatura controlada (90, 140 e 240°C). A produção de etileno foi expressa em nmol de etileno $\text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$. A taxa respiratória foi medida pela quantidade de CO_2 produzida pelos frutos em um analisador eletrônico de gases (Isocell®), e expressa em $\text{mL CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$.

A ATT foi realizada através do processamento dos frutos em uma centrífuga (Philips walitta, Brasil) e posterior titulação manual.

Pipetou-se 10 ml do extrato obtido do suco da fruta e, em seguida adicionou-se 100 mL de água destilada para ser titulada com NaOH 0,1 mol L⁻¹ até pH 8,1. Os teores de SS foram obtidos usando refratômetro manual (Atago, Master α, Japão), e expressos em unidades de °Brix. A firmeza de polpa foi mensurada com um penetrômetro automático (Effegi Systems, Milan, Italy), e expressa em Newton (N). As leituras do penetrômetro foram realizadas em dois locais opostos na região equatorial dos frutos, após a remoção de uma porção da casca com uma ponteira de 8,0 mm de diâmetro.

5.2.2.3.4. Coleta de solo

Amostras de solo foram coletadas anualmente nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,0-0,20 m, na área de projeção da copa das plantas. O solo foi seco ao ar, moído, passado em peneira com malha de 2 mm e preparado para extração de K por Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), conforme proposto por TEDESCO et al. (1995). O conteúdo de K nas amostras foi determinada em um fotômetro de chama (Digimed, DM-62, Brasil).

5.2.2.3.5. Análise estatísticas e cálculos

As equações de regressão polinomiais foram ajustadas para os conteúdos de K no solo, a composição nutricional das folhas, os parâmetros produtivos (número, massa de frutos, produção por planta e por hectare) e parâmetros de qualidade (cor de casca, ATT, SS, firmeza da polpa, produção de etileno e taxa respiratória), quando houve ocorrência de efeito significativo pela análise de variância. O conteúdo de K nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m de solo foram submetidas à análise de variância dentro da mesma dose (0, 40, 80, 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹) e quando houve efeito significativo, a comparação de médias foi realizada utilizando o teste de Tukey (p < 0,05%).

O cálculo dos níveis críticos de K no solo e no tecido foi determinado através do ajuste matemático entre as variáveis utilizando o modelo de Mitscherlich (Equação 8 e 9):

$$rr = (rt/rm) * 100 \quad \text{Equação 8}$$

Onde: *rr* é o rendimento relativo, *rt* é o rendimento do tratamento e *rm* é o rendimento máximo das safras.

$$\hat{y} = a(1 - b^x) \quad \text{Equação 9}$$

Onde: \hat{y} representa o rr , a e b são constantes, e x é o conteúdo do nutriente no solo ou na folha completa.

As doses com maior viabilidade econômica no pomar de pereiras foram calculadas para cada safra de acordo com (NATALE et al. (1996). No presente estudo se considerou o preço médio do quilo de pereira *in natura* comercializado no CEASA-SC, cujo valor foi US \$ 1,44 referente ao preço médio dos últimos seis meses de 2018 (CEASA, 2018). O valor do kg KCl comercializado em Santa Catarina nos últimos seis meses de 2018 foi de US \$ 0,46 (INFOAGRO, 2019).

Com o objetivo de fixar valores conforme a flutuação cambial dos frutos, trabalhou-se com uma relação de troca ao invés de moeda corrente, buscando-se assim dados estáveis. Dessa maneira a “moeda” utilizada nos cálculos foi a própria “pera”, considerando a seguinte relação de equivalência: kg KCL aplicado / kg de pera paga nos entrepostos, que é igual: US\$ 0,46 / 1,44 = 0,32. A dose mais econômica foi calculada com base na derivada da equação de regressão entre as doses de KCl aplicadas e a produção de frutos, tornando-a igual à relação de troca pela equação 10:

$$dy/dx = a1 + 2 ax = \text{relação de troca} \quad \text{Equação 10}$$

Onde: a dose mais econômica (x') é então calculada pela equação 11:

$$x' = a1 - \text{relação de troca} / 2 . (-a2) \quad \text{Equação 11}$$

A produção acumulada das quatro safras safras foi utilizada para calcular as doses mais econômicas do fertilizante potássico.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a partir da média das variáveis resposta de solo (conteúdo de K disponível por Mehlich-1), de planta (concentrações de N, P, K, Ca e Mg em folhas), de produção (massa de frutos, número de frutos e produtividade) e de clima (precipitação acumulada, umidade relativa do ar e temperatura mensais), através do software CANOCO versão 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002).

5.2.2.4. Resultados e Discussão

5.2.2.4.1. K no solo e em folhas

O conteúdo de K disponível por Mehlich-1 no solo aumentou de forma quadrática em todas as camadas do perfil de solo (0,0-0,10; 0,10-0,20,0 e 0,0-0,20 m), com o as doses crescentes de K aplicadas e

em todas as safras avaliadas (Tabela 27). Os conteúdos de K disponível no solo aumentaram a partir das aplicações de K ao longo das safras, sendo que os maiores valores foram observados na última safra (2016/2017).

Estes resultados mostram que provavelmente as doses de K aplicadas propiciaram condições nutricionais acima da demanda das pereiras, principalmente porque as produtividades obtidas foram consideradas baixas em praticamente todas as safras (Tabela 27). Países tradicionais na produção de peras normalmente atingem produtividades maiores que as do presente experimento, com médias de 37,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ nos Estados Unidos, 36,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ na Argentina e 35,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no Chile (FAO, 2019).

Esse comportamento de variação de produtividade, pode estar associado a fatores genéticos de absorção de nutrientes pelas pereiras, pois há uma tendência em absorver e transportar menores quantidades de K via fruto (HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003). Além disso, a manutenção ou até o incremento dos conteúdos de K disponível em solos com histórico de aplicação potássica, podem ocorrer devido as perdas de K por escoamento superficial (DA SILVA; DA SILVA; SIMÃO, 2016; NIEVES-CORDONES et al., 2014). Parte do K absorvido pelas pereiras ou mesmo pelas espécies de plantas de cobertura do solo, podem ter retornado ao solo pela mineralização (ROSEN; ALLAN, 2007), senescência e deposição de resíduos (folhas, ramos e raízes) (LI et al., 2018; NIEVES-CORDONES et al., 2014).

O conteúdo de K trocável nas camadas de 0,0-0,10 e 0,0-0,20 m diminuiu no solo sem aplicação de K ao longo das safras (Tabela 27). Isso provavelmente aconteceu por causa da depleção de K trocável no solo ao longo do tempo, especialmente por causa de sua absorção pelas pereiras (KAMINSKI et al., 2007; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014), e exportação pelos frutos (HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003).

Esse resultado também permite inferir que provavelmente, o solo deste estudo não possui grandes reservas de K não-trocável suficientes para tamponar o decréscimo do K trocável absorvido pelas pereiras (BRUNETTO et al., 2015b; KAMINSKI et al., 2010; MONTES et al., 2016). Além do mais, surge a real necessidade de aplicação de fertilizantes que possuam K em sua composição, o que poderá aumentar o conteúdo de K trocável em solo de pomares.

Tabela 27. Conteúdo de K extraído por Mehlich-1 no solo, concentrações totais de N, P, K, Ca e Mg em folhas, número de frutos por planta, massa média de frutos, produção e produtividade de frutos em pereiras submetidas à aplicação de doses de K no solo.

Dose	Conteúdo de K trocável			Conteúdo total nas folhas					Nº frutos planta ⁻¹	Massa média dos frutos	Produção	Produtividade
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,0-0,20 m	N	K	P	Ca	Mg				
kg K ₂ O ha ⁻¹	mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹					g	Kg planta ⁻¹	Mg ha ⁻¹	
----- Safrinha 2013/2014 -----												
0	na	na	na	na	11,3 ^{ns}	na	na	na	20 ^{ns}	161,5 ^{ns}	2,8 ^{ns}	3,5 ^{ns}
40	na	na	na	na	10,9	na	na	na	25	171,0	4,3	5,4
80	na	na	na	na	12,1	na	na	na	24	159,0	3,9	4,9
120	na	na	na	na	12,5	na	na	na	21	169,0	3,6	4,5
160	na	na	na	na	13,0	na	na	na	25	182,0	4,5	5,6
CV(%)	-	-	-	-	12,1	-	-	-	18,4	9,7	20,9	21,2
----- Safrinha 2014/2015 -----												
0	71,2 ^{(1)a*}	23,0 ^{(2)b}	55,5 ⁽³⁾	26,5 ^{ns}	12,9 ^{ns}	12,4 ^{ns}	20,5 ^{ns}	4,3 ⁽⁴⁾	37 ⁽⁵⁾	171,7 ^{ns}	6,4 ⁽⁶⁾	8,1 ⁽⁷⁾
40	94,8 a	25,9 b	78,4	27,0	12,9	12,4	20,7	3,0	53	168,3	8,9	11,1
80	136,6 a	34,9 b	115,8	27,7	12,7	12,1	22,3	3,2	52	161,0	8,4	10,5
120	106,6 a	51,6 b	107,3	25,8	12,9	12,3	20,0	2,2	59	169,0	10,0	12,5
160	133,6 a	67,7 b	125,7	25,3	12,9	12,4	20,3	2,5	40	173,0	6,9	8,6
CV(%)	9,9	10,9	11,5	12,0	11,3	6,1	5,2	13,6	13,5	6,3	16,6	16,4
----- Safrinha 2015/2016 -----												
0	66,3 ^{(8)a}	23,5 ^{(9)b}	40,0 ⁽¹⁰⁾	22,7 ^{ns}	13,2 ^{ns}	12,2 ⁽¹¹⁾	20,0 ⁽¹²⁾	5,7 ⁽¹³⁾	24 ^{ns}	144,0 ^{ns}	3,5 ^{ns}	4,3 ^{ns}
40	140,0 a	64,3 b	90,0	23,9	13,5	12,2	25,3	3,5	18	152,4	2,6	3,3
80	165,7 a	111,2 b	125,0	28,6	13,2	12,1	23,5	3,7	19	148,9	2,9	3,6
120	268,3 a	142,3 b	192,7	26,8	13,3	12,2	21,3	2,1	25	160,2	4,0	5,1
160	293,3 a	163,3 b	211,9	23,5	13,3	12,3	20,3	2,5	25	164,6	4,2	5,2
CV(%)	7,2	12,3	17,0	11,7	11,4	3,0	8,4	12,9	27,1	7,3	25,4	25,4
----- Safrinha 2016/2017 -----												
0	71,5 ^{(14)a}	24,8 ^{(15)b}	33,6 ⁽¹⁶⁾	24,6 ^{ns}	12,7 ⁽¹⁷⁾	16,4 ^{ns}	19,5 ⁽¹⁸⁾	3,3 ^{ns}	39 ⁽¹⁹⁾	159,0 ^{ns}	6,1 ⁽²⁰⁾	7,6 ⁽²¹⁾
40	162,6 a	77,6 b	147,0	24,4	13,4	17,1	21,5	3,0	40	163,9	6,6	8,3
80	169,0 a	122,3 b	120,0	24,2	13,1	16,4	22,3	3,5	37	152,4	5,7	7,1
120	288,0 a	176,6 b	225,5	25,4	13,5	16,9	21,3	3,3	47	162,4	7,6	9,5
160	308,7 a	187,0 b	273,5	25,2	13,6	16,7	23,0	3,7	65	173,2	11,3	14,1
CV(%)	4,3	11,7	10,3	13,1	11,4	9,1	5,3	13,8	19,5	6,9	22,1	22,3

Equação: ⁽¹⁾y=71,99+0,80x-0,002x² (R²=0,72); ⁽²⁾y=22,44+0,04x-0,001x² (R²=0,99); ⁽³⁾y=54,82+0,81x-0,002x² (R²=0,91); ⁽⁴⁾y=4,26-0,02x+0,00008x² (R²=0,87); ⁽⁵⁾y=37,11+0,47-0,002x² (R²=0,82); ⁽⁶⁾y=6,41+0,07x-0,0004x² (R²=0,72); ⁽⁷⁾y=8,04+0,08x-0,0005x² (R²=0,73); ⁽⁸⁾y=67,27+1,60x-0,0009x² (R²=0,96); ⁽⁹⁾y=21,46+1,29x-0,002x² (R²=0,99); ⁽¹⁰⁾y=38,48+1,32x-0,001x² (R²=0,98); ⁽¹¹⁾y=12,24-0,002x+0,00001x² (R²=0,41); ⁽¹²⁾y=20,89+0,08x-0,0005x² (R²=0,65); ⁽¹³⁾y=5,54-0,04+0,0001x² (R²=0,87); ⁽¹⁴⁾y=84,83+1,50-0,0003x² (R²=0,93); ⁽¹⁵⁾y=22,25+1,59x-0,003x² (R²=0,98); ⁽¹⁶⁾y=48,54-1,38x+0,00008x² (R²=0,89); ⁽¹⁷⁾y=12,86+0,007x-0,00002x² (R²=0,68); ⁽¹⁸⁾y=19,8+0,03x-0,0001x² (R²=0,71); ⁽¹⁹⁾y=40,32-0,18x+0,002x² (R²=0,95); ⁽²⁰⁾y=6,49-0,03x+0,0004x² (R²=0,93); ⁽²¹⁾y=8,11-0,04x+0,0005x² (R²=0,92); na = não avaliado; ns = não significativo; * Médias seguidas pela mesma letra na linha em cada profundidade não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Os maiores conteúdos de K trocável foram observados na camada mais superficial do perfil de solo (0,0-0,10 m), independentemente do tratamento (Tabela 27), já que o fertilizante foi aplicado sobre o solo sem incorporação, e os resíduos vegetais depositados sobre o solo liberam K através da sua decomposição (DE OLIVEIRA et al., 2017; NASCENTE; STONE; CRUSCIOL, 2015).

O K derivado do fertilizante ou de resíduos vegetais podem ser adsorvidos à grupos funcionais de partículas reativas inorgânicas e orgânicas, observadas em maiores quantidades na superfície do solo (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Entretanto, parte do K trocável pode ter sido deslocado no perfil do solo ao longo das safras, especialmente nos tratamentos submetidos às maiores doses de K (MONTES et al., 2016), em que foi observado um incremento dos conteúdos de K na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 27).

As concentrações de N, P e K em folhas não foram alteradas pelas doses de K no solo em três das quatro safras avaliadas. Porém, as raízes das frutíferas, como a pereira, podem explorar e absorver formas de K não-trocáveis em camadas mais profundas do solo, o que melhora sua nutrição e reduz a dependência do uso de fertilizante (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Não obstante, as pereiras podem possuir reservas internas de K localizados em órgãos perenes, como raízes, ramos do ano e de mais de um ano (ROSEN; ALLAN, 2007; YANG et al., 2015). Assim, no ciclo atual de produção da safra, parte dos nutrientes demandados pelos órgãos anuais podem ser supridos por órgãos perenes.

Na safra 2016/17, a concentração de K em folhas aumentou de forma quadrática com as aplicações de doses de K no solo, o que pode indicar o início da resposta produtiva da pereira (Tabela 27). O acréscimo de conteúdo de K nas folhas aconteceu por causa do aumento da disponibilidade de K trocável no solo, diagnosticado em todas as camadas de solo avaliadas. Com isso, se espera uma maior facilidade de aproximação de íons de K até a superfície externa das raízes, o que acontece preferencialmente por fluxo de massa (MARSCHNER, 2012; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Assim, o K pode ser absorvido por transportadores nos canais VvK1.1 (LI et al., 2018) e logo depois pode ser rapidamente transportado no xilema na forma iônica (K^+) para outros órgãos em crescimento, como as folhas, as quais estão em processo de divisão e alongação celular (WANG; WU, 2017).

As concentrações de Mg nas folhas diminuíram com o aumento das doses de K no solo nas safras 2014/2015 e 2015/2016, provavelmente devido aos transportadores de K competindo pelos sítios de absorção de Ca e Mg (YANG et al., 2015). Logo, as pereiras ao longo das safras com sucessivas aplicações de K no solo, podem apresentar sintomatologia de deficiência de Mg nas folhas (BRUNETTO et al., 2015b, 2015a; PII et al., 2014).

5.2.2.4.2. Produtividade, dose mais econômica e níveis críticos de K no solo e em folhas

O número de frutos e a produtividade de pereiras aumentou de forma quadrática com a aplicação de doses de K no solo durante as safras 2014/2015 e 2016/2017 (Tabela 27). Entretanto, nas safras de 2013/2014 e 2015/2016 as aplicações de doses de K no solo não promoveram o incremento do número de frutos, produção e produtividade de peras, corroborando com resultados obtidos anteriormente no mesmo experimento realizado por BRUNETTO et al. (2015a). Por outro lado, nas safras em que se observou um menor número de frutos e produção, o incremento de K no solo promovido pelas adubações foi de pouca importância, provavelmente porque o K nativo do solo e das reservas internas de órgãos perenes nas plantas foram suficientes para suprir a demanda fisiológica das pereiras (YANG et al., 2015; ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

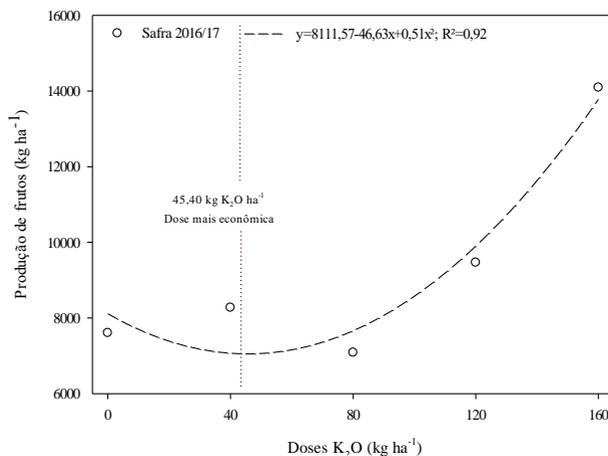


Figura 15. Relação entre a dose de cloreto de potássio (K₂O) e a produção de frutos de pereira cv. Rocha durante a safra 2016/2017.

O cálculo da dose mais econômica para adubação potássica foi determinada para as quatro safras avaliadas já que não foi possível estabelecer os níveis críticos de K no solo e nas folhas. Nas três primeiras safras do experimento, a relação entre o incremento das doses de K₂O e a produção de frutos foi linear, não permitindo o cálculo da dose mais econômica. Na quarta safra (2016/17), a curva de resposta do

adubo potássico foi quadrática, e a dose mais econômica de fertilizante para as pereiras foi de $45,40 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} = 36,32 \text{ g / planta}$ (Figure 15).

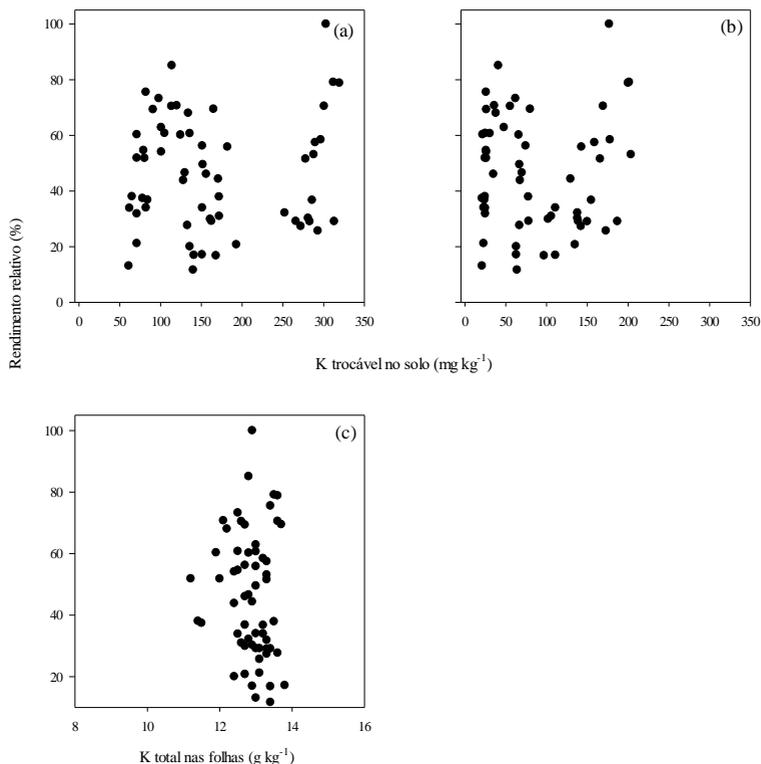


Figura 16. Relação entre o rendimento relativo e o conteúdo de K trocável no solo na camada de 0.0 à 0.10 m (a), de 0.0 à 0.20 m (b), e a concentração de K em folhas (c), durante as safras =2013/2014, 2014/2015, 2015/16 e 2016/2017.

A receita prevista devido à adubação potássica, pode ser calculada pelo aumento da produção ($7605,0 \text{ kg de frutos ha}^{-1}$), custo do fertilizante ($914,53 \text{ kg de frutos ha}^{-1}$) e pela receita obtida ($7590,47 \text{ kg de frutos ha}^{-1}$). A dose mais econômica que define a quantidade de fertilizante a ser aplicado por área, corresponde a um ponto que essa quantidade aplicada proporciona a máxima distância entre a linha de custo do insumo e a curva de resposta.

Após quatro safras de cultivo de pera, estabeleceu-se a relação entre o rendimento relativo de frutos com o conteúdo de K trocável nas camadas de 00-0,10 e 0,0-0,20 m (Figure 16ab), e para as concentrações de K em folhas (Figure 16c). Todavia, não foi possível o estabelecimento de níveis críticos utilizando o modelo matemático de Mitscherlich, pois as raízes das pereiras exploraram camadas de solo mais profundas, acessando formas de K inclusive aquelas não trocáveis não diagnosticadas pelo método de Mehlich-1 (BRUNETTO et al., 2015b; NIEVES-CORDONES et al., 2014)

5.2.2.4.3. *Análise de componentes principais (ACP)*

A análise de componentes principais (ACP) realizada com os dados obtidos durante a safra 2014/15 mostrou que a soma da variabilidade dos componentes explicou 81,33% da variabilidade dos resultados originais (Figura 17). Desse total, 46,81% foram explicados pelo fator 1 (PC1) e 34,52% pelo fator 2 (PC2). A distribuição espacial das doses de K está claramente explicitada na formação de grupos no fator 1, em que há separação das doses de 0, 40, 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹ em relação a aplicação de 80 kg K₂O ha⁻¹.

A partir desta separação, verifica-se que as variáveis mais influentes no grupo das doses 0, 40, 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹ foi a concentração de K em folhas e o peso de frutos. Já a dose 80 kg K₂O ha⁻¹ sofreu maior influência de variáveis como produtividade, número de frutos e conteúdo de K trocável no solo.

As safras 2015/16 e 2016/17 se comportaram de maneira similar (Figure 17bc); na primeira, a soma da variabilidade dos componentes explicou 78,63% da variabilidade dos dados, e na segunda, explicou 82,26%. A distribuição das doses pelo fator 1 em ambas as safras formaram um grupo com as doses de 0, 40 e 80 kg K₂O ha⁻¹, sendo influenciada pelas concentrações de Ca e Mg nas folhas, enquanto os parâmetros produtivos se correlacionaram positivamente com as doses mais elevadas de 120 e 160 kg K₂O ha⁻¹.

A inserção dos dados climáticos na análise de todas as safras (Figure 17d), estabeleceram uma correlação linear negativa entre os parâmetros de produção e a precipitação acumulada. Esse fato ficou evidente nas safras 2013/14 e 2015/16 onde a maior precipitação anual acumulada (Figure 14) resultou em queda de produtividade (Tabela 26).

As safras 2014/15 e 2016/17 apresentaram maiores produtividades (Tabela 27) e menores precipitações acumuladas, demonstrando que os fatores climáticos influenciam no desempenho

produtivo da pereira, o que comprova a real necessidade de experimentos de longa duração.

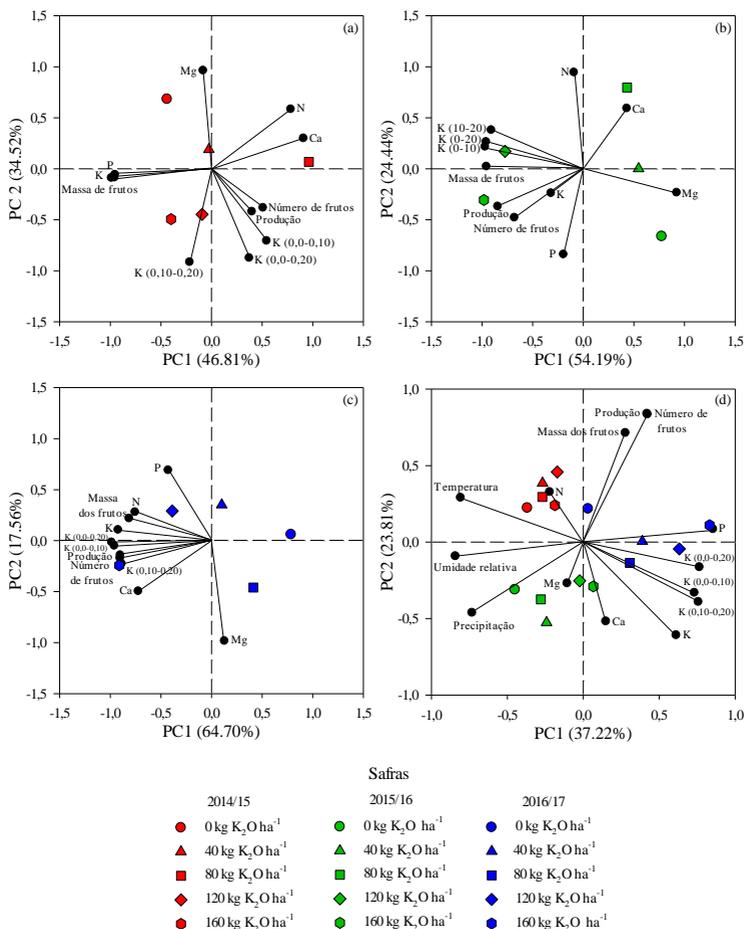


Figura 17. Relação entre o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) para grupos variáveis de crescimento (concentrações de N, P, K, Ca e Mg em folhas), produção (número de frutos por planta⁻¹, produção por planta⁻¹, massa de frutos), parâmetros químicos do solo (K trocável nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,0-0,20 m do solo) em pereiras submetidas a doses de K no solo, nas safras de 2014/2015 (a), 2015/2016 (b), 2016/2017 (c), e com variações climáticas (d).

5.2.2.4.4. Qualidade de frutos

A aplicação de K no solo durante as safras estudadas aumentaram sua concentração no solo, entretanto durante a safra 2015/16, o uso de fertilizante não afetou os parâmetros de qualidade do fruto (cor da casca, firmeza de polpa, acidez total titulável e SS), que foram realizados após 90 dias de armazenamento refrigerado e 7 dias de armazenamento em condições ambiente a 20°C (Tabela 28). Como uma explicação para o fato, pode-se presumir que durante a safra 2015/16, o pouco conteúdo de K disponível no solo pode ter sido absorvido pelas pereiras, já que não foi observado nenhum incremento da concentração de K nas folhas ou um aumento de produtividade (Tabela 27).

Tabela 28. Cor da casca, firmeza de polpa, acidez total titulável e sólidos solúveis totais, provenientes de pereiras submetidas à aplicação de doses de K no solo durante as safras 2015/2016 e 2016/2017, após 90 dias de armazenamento em atmosfera controlada e após 7 dias em condição ambiente a 20°C

Dose de K (kg K ₂ O ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Cor da casca (°h)	Firmeza da polpa (N)	Acidez total titulável (%)	Sólidos solúveis (°Brix)
----- Safra 2015/2016 -----				
Após 90 dias de armazenamento refrigerado				
0	65,7 ^{ns}	na	na	na
40	67,0	na	na	na
80	66,0	na	na	na
120	67,0	na	na	na
160	66,5	na	na	na
CV (%)	5,2	-	-	-
Após 7 dias em condição ambiente a 20°C				
0	66,7 ^{ns}	84,5 ^{ns}	2,3 ^{ns}	13,0 ^{ns}
40	69,5	97,3	3,0	13,0
80	66,0	95,8	2,3	12,7
120	70,0	98,5	2,0	12,5
160	69,5	97,8	2,3	12,0
CV (%)	3,1	12,7	16,4	5,7
----- Safra 2016/2017 -----				
Após 90 dias de armazenamento refrigerado				
0	68,7 ^{ns}	na	na	na
40	68,6	na	na	na
80	67,8	na	na	na
120	67,8	na	na	na
160	68,7	na	na	na
CV (%)	2,2	-	-	-
Após 7 dias em condição ambiente a 20°C				
0	na	56,8 ^{ns}	1,9 ^{ns}	11,8 ^{ns}
40	na	60,8	2,1	12,3
80	na	62,8	2,1	11,7
120	na	61,8	2,1	11,7
160	na	60,6	2,0	11,9
CV (%)	-	5,5	9,2	2,6

^{ns} = não significativo; ^{*} = significativo a 5 % de probabilidade de erro; na = não analisado.

Na safra 2016/17 mesmo com o aumento da dose de K no solo, observou-se a diminuição da produção de etileno e da taxa respiratória

nos frutos após 90 dias de armazenamento refrigerado e 7 dias em condições ambiente a 20°C (Figura 18).

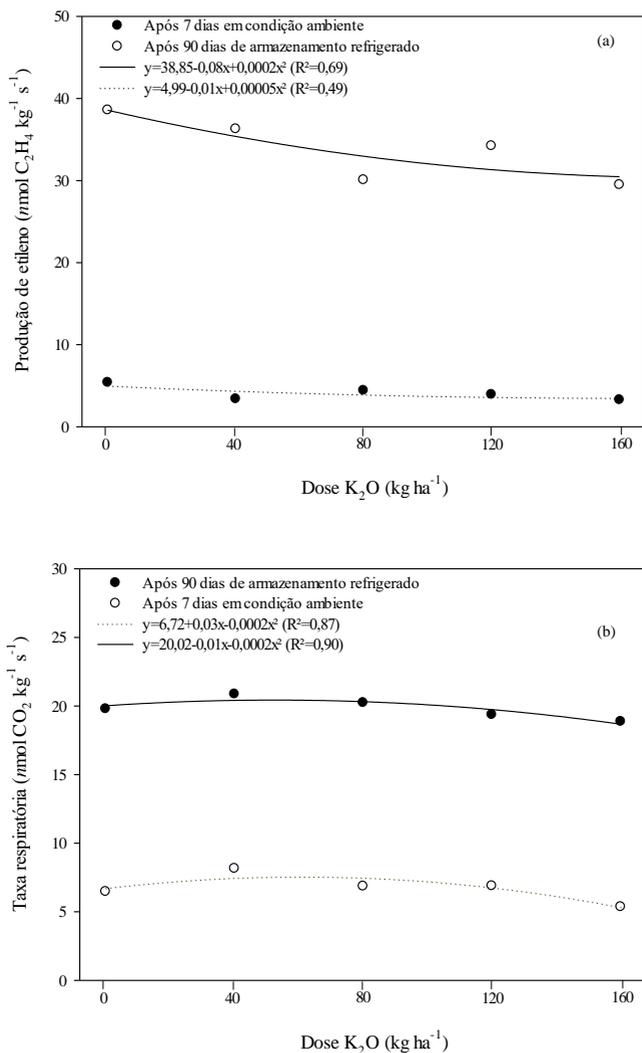


Figura 18. Produção de etileno (a) e taxa respiratória (b) de frutos de pera provenientes de pereiras submetidas à aplicação de doses de K na safra 2016/2017, após 90 dias de armazenamento em atmosfera controlada e após 7 dias em condição ambiente a 20° C.

Tal diminuição da produção do etileno pode estar relacionada com o aumento da exportação de K para os frutos, o que pode retardar seu amadurecimento e produzir frutos de menor tamanho e peso médio (JACOMINO; MENDONÇA; KLUGE, 2005; TOEBE et al., 2016).

Assim como a produção de etileno a queda na taxa respiratória também foi verificada em frutos que receberam as maiores doses de K (160 Kg K₂O ha⁻¹). Esses resultados corroboram com o encontrado por HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI (2003) em maçãs 'Fuji', onde relatam que pomares que haviam recebido adubações potássicas nas doses de 150 Kg K₂O ha⁻¹ durante nove anos apresentaram após armazenamento menor produção de etileno e menor taxa respiratória, acrescentando que esses resultados estão relacionados com o menor processo de amadurecimento dos frutos provocados por maiores doses de K e que conseqüentemente proporcionou aos frutos uma melhor qualidade quando analisado os parâmetros de produção de etileno e taxa respiratória.

Nas pereiras, a absorção dos nutrientes K e Ca ocorrem nos mesmos sítios de ligação na membrana plasmática, causando um fenômeno de competição que pode causar um desbalanço nutricional no fruto, gerando possíveis distúrbios fisiológicos como o escurecimento de polpa (MARTIN; STEFFENS; VIDAL, 2017). No entanto, observou-se que após vários anos do início da aplicação de K no solo não houve alteração da relação K/Ca, o que evidencia que as pereiras estavam bem nutridas com alto teores de Ca, contribuindo para a conservação do fruto.

Todas essas constatações mostram que aplicações de K no solo podem aumentar o tempo de armazenamento dos frutos em câmara fria e em prateleira, já que os valores de produção de etileno e taxa respiratória caíram significativamente sem apresentar nenhum desbalanço à pereira.

5.2.2.5. Conclusão

A adubação potássica em pomares de pereira da cultivar Rocha, aumentou o conteúdo de K trocável no solo favorecendo o incremento de teores de K em até 0,20 metros de profundidade.

No entanto, o aumento da concentração de K nas folhas e a produtividade nem sempre estavam associadas ao incremento de K no solo. A dose mais econômica para aplicação de K no solo foi de 42,4 kg K₂O ha⁻¹ na safra 2016/17, sendo esse valor muito próximo a menor dose aplicada na mesma safra (40 kg K₂O ha⁻¹). Entretanto, não foi

possível estimar os níveis críticos de K no solo e nas folhas de pereiras em produção.

Os frutos de pereiras submetidas a aplicação de doses de K no solo apresentaram menores valores de produção de etileno e respiração, aumentando o período de armazenamento dos frutos em câmara fria e em prateleira.

6. DISCUSSÃO GERAL

A pera é a fruta *in natura* mais importada pelo Brasil, contudo, por problemas ligados à cadeia de produção, o cultivo de pereiras não tem atraído a atenção dos fruticultores para plantio.

Alguns dos motivos que explicam as baixas produtividades de pera e sua menor expansão no mercado interno estão associadas à carência de conhecimento ligados ao vigor das plantas, como melhores combinações de porta-enxerto e copa, além de aspectos ligados a produtividade, como a polinização e a adubação.

A adubação está intimamente ligada a eficiência de absorção de nutrientes e as suas perdas para o ambiente. As fruteiras coabitam com plantas herbáceas durante todo o seu ciclo produtivo favorecendo uma melhor ciclagem de nutrientes. As pereiras podem acumular reservas de nutrientes em órgãos perenes e conforme sua necessidade natural, podem disponibilizá-los para seus órgãos anuais, e exportá-los via fruto durante o ciclo produtivo.

As fruteiras também, podem contribuir de uma maneira efetiva com a preservação do solo, pois há uma considerável redução no revolvimento do solo quando comparados ao cultivos anuais. Atualmente, há uma crescente demanda no Brasil por alimentos limpos e que causem um menor impacto ambiental; o que justifica a realização de estudos para definir melhores estratégias e práticas, para aumentar o aproveitamento de nutrientes pelas pereiras.

Os resultados obtidos com o experimento de parâmetros cinéticos da absorção de NO_3^- e NH_4^+ , podem contribuir com a seleção de porta enxertos, uma vez que a cultivar '971' apresentou maiores valores de V_{max} e Influxo. Dessa forma, a cultivar poderá ser utilizada em solos com menores teores de matéria orgânica e, hipoteticamente, menor disponibilidade de formas de N nativas. As plantas destas cultivares poderão ainda ser submetidas a menores doses de N, o que poderá diminuir seu custo de produção, como também, diminuir o potencial de contaminação do solo e águas por, como exemplo, o NO_3^- . Por isso, a determinação dos parâmetros cinéticos de absorção da pereira, pode ser um componente de grande importância no melhoramento de germoplasmas.

Os resultados do experimento realizado, com doses crescentes de N na forma de ureia, demonstraram que após cinco safras de avaliação, as doses de N aplicadas no solo não incrementaram os teores de N em folhas e a produção de frutos. O N disponibilizado para as pereiras pode ter sido fornecido pela mineralização da matéria orgânica

do solo, incrementando as reservas de N nos órgãos perenes das pereiras, reduzindo a demanda de N. No entanto, a não aplicação de N ao longo de várias safras pode causar um rápido decréscimo das fontes de N naturais presente no solo, uma vez que parte dos nutrientes são exportados via fruto.

As pereiras convivem durante todo o ciclo produtivo com plantas de cobertura, por isso avaliou-se a contribuição de N derivado da decomposição da parte aérea de aveia branca e centeio para a nutrição de pereira. Os resultados indicaram que o N derivado dos resíduos adicionados à superfície do solo pouco contribuíram para a nutrição da pereira. Isso porque as pereiras absorveram e acumularam outras fontes de N que não derivadas dos resíduos. O N pode ter sido derivado da mineralização da matéria orgânica do solo, mas também de fertilizantes nitrogenados aplicados em anos anteriores a realização do experimento. Estes dados reforçam a necessidade de manutenção dos teores de matéria orgânica no solo, inclusive com a manutenção de plantas de cobertura nas linhas e entrelinhas dos pomares, ou com aplicações de fertilizantes de fonte orgânicas.

De acordo com os resultados dos experimentos com doses de P e K aplicadas ao longo do tempo em pomares, pode-se observar que a adubação fosfatada, com doses de P, incrementou o teor de P em camadas do solo. As reservas no interior das plantas também aumentaram, sendo diagnosticadas pelo aumento da produtividade e incremento de P nas folhas. As doses crescentes de K aplicadas na superfície do solo, aumentou os teores de K trocável e o período de armazenamento da pera em câmara fria e em prateleira.

Após quatro safras de avaliação não foi possível definir os níveis críticos de P e K no solo e tecido, o que pode estar relacionado ao crescimento de raízes em maior volume de solo, aumentando a probabilidade de acesso a outras formas dos nutrientes, que não aquelas derivadas dos fertilizantes. Mas também, pode estar associado à presença de reservas internas de P e K nas plantas, construídas ao longo dos anos, o que diminui a demanda da pereira ao P e K aplicados. A utilização da análise de linha de fronteira, onde avalia-se correlações estabelecidas entre as doses de P e K aplicadas no solo, com os teores nas folhas e no solo, talvez possam definir as melhores doses de P e K. As doses mais econômicas para cada safra dos experimentos de P e K foram determinadas e os resultados demonstram a viabilidade da adubação.

7. ESTUDOS FUTUROS

a) Verificar o comportamento dos porta enxertos de pereira '54' e '971' provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Uva e Vinho de Vacaria (RS) sob cultivares copa, para estudar possíveis diferenças na absorção de nutrientes antes do lançamento dessas cultivares no mercado. Essa informação poderá contribuir para reduzir os custos financeiros do o plantio em áreas para zoneamento agroclimático e também com informações sobre as quantidades utilizadas para as adubações de implantação e manutenção de pomares.

b) Estabelecer experimentos moleculares afim de conhecer os diferentes transportadores envolvidos na absorção de NO_3^- e NH_4^+ em pereiras, para contribuir com o uso mais eficiente de N em pomares de pera;

c) Realizar estudos de longa duração com a aplicação de fontes de N mineral e orgânico, somado a diferentes manejos de plantas de cobertura, para compreender a dinâmica do carbono e da mineralização de matéria orgânica em solos do Planalto Sul Catarinense. Esses estudos podem servir de base para a utilização de modelos matemáticos como o DayCent e o Century model que podem responder quais manejos e adubações são mais eficientes para a nutrição de pereiras.

d) Estabelecer experimentos para testar diferentes épocas de coleta de folhas de pereira, uma vez que os experimentos de calibração conduzidos nem sempre apresentaram incremento nas folhas e no solo. Esses estudos podem elucidar sobre a quantidade de doses e as melhores formas de aplicação e coleta de folhas.

e) Estabelecer estudos de similaridade nutricional em pereiras da cultivar Rocha, utilizando o banco de dados de análises foliares, com o intuito de realizar diagnose nutricional por meio do método CND.

8. REFERÊNCIAS

ABRISQUETA, J. M. et al. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 95, n. 8, p. 959–967, 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377408000796>>. Acesso em: 11 out. 2012.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. 1. ed. [s.l.] : Gênese, 2006. p. 215.

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; DE PAEPE, J. L. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 170, p. 53–65, 2017.

ALVES, L. S. et al. Soluble fractions and kinetics parameters of nitrate and ammonium uptake in sunflower (“Neon” Hybrid). **Revista Ciencia Agronomica**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 13–21, 2016.

ATUCHA, A.; MERWIN, I. A.; BROWN, M. G. Long-term effects of four groundcover management systems in an apple orchard. **HortScience**, [s. l.], v. 46, n. 8, p. 1176–1183, 2011.

BALDI, E. et al. Compost can successfully replace mineral fertilizers in the nutrient management of commercial peach orchard. **Soil Use and Management**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 346–353, 2010. a. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-2743.2010.00286.x>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

BALDI, E. et al. Organic fertilization leads to increased peach root production and lifespan. **Tree physiology**, [s. l.], v. 30, n. 11, p. 1373–82, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20921024>>. Acesso em: 26 mar. 2012.

BARRETO, R. C. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 132, n. 3–4, p. 243–251, 2009.

BATISTA, R. O. et al. Morfologia radicular e cinética de absorção de nutrientes por clones de cedro-australiano. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 153–162, 2016.

BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant Litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration**. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

BOTELHO, R. V. et al. Estado nutricional de diferentes cultivares de pereira nas condições edafoclimáticas de Guarapuava-PR. **Revista**

Brasileira de Fruticultura, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 884–891, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452010000300030&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>

BOTTON, A.; TONUTTI, P.; RUPERTI, B. **Biology and Biochemistry of Ethylene**. Italy: Elsevier Inc., 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00005-1>>

BRACKMANN, A. et al. Active Modified Atmosphere and 1-Methylcyclopropene During Shelf Life on ‘ Fuyu ’ Persimons. **Bioscience journal**, [s. l.], v. 29, n. 6, p. 1912–1919, 2013.

BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 565–571, 2005.

BRUNETTO, G. et al. Adubação nitrogenada em ciclos consecutivos e seu impacto na produção e na qualidade do pêssego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 1721–1725, 2007.

BRUNETTO, G. et al. Nutrient release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 90, n. 3, p. 299–308, 2011.

BRUNETTO, G. et al. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to “Niagara Rosada” grape nutrition. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 169, p. 66–70, 2014. a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.019>>

BRUNETTO, G. et al. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to ‘Niagara Rosada’ grape nutrition. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 169, p. 66–70, 2014. b.

BRUNETTO, G. et al. The pear tree response to phosphorus and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 507–516, 2015. a.

BRUNETTO, G. et al. The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 1089–1104, 2015. b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452015000401089&lng=en&nrm=iso&tlng=en>

BRUNETTO, G. et al. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 207, n. 2, p. 1–6, 2016. a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.002>>

BRUNETTO, G. et al. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 207, n. 2, p. 1–6, 2016. b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.002>>

BRUNETTO, G. et al. Nitrogen availability in an apple orchard

with weed management. **Ciencia Rural**, [s. l.], v. 48, n. 5, 2018.

CARRANCA, C.; BRUNETTO, G.; TAGLIAVINI, M. Nitrogen Nutrition of Fruit Trees to Reconcile Productivity and Environmental Concerns. **Plants**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 4, 2018.

CEASA. Centrais de Abastecimento do Estado de Santa Catarina. **Cotação de preço**. Disponível em: <http://www.ceasa.sc.gov.br/index.php/cotacao-de-precos>. Acesso em 04/04/2019.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. [s.l.]: SBSC - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 1 ed. [s.l.]: SBSC Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016.

CHAVES, B. et al. Manipulating the N release from 15N-labelled celery residues by using straw and vinasses in Flanders (Belgium). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 123, n. 1–3, p. 151–160, 2008.

CHRISTOU, M.; AVRAMIDES, E. J.; JONES, D. L. Dissolved organic nitrogen dynamics in a Mediterranean vineyard soil. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 38, n. 8, p. 2265–2277, 2006. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071706001258>>. Acesso em: 25 maio. 2012.

CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. A Method for Characterizing the Relation between Nutrient Concentration and Flux into Roots of Intact Plants. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 564–568, 1974. Disponível em: <<http://www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.54.4.564>>

CLOUGH, T. et al. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. **Agronomy**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 275–293, 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4395/3/2/275/htm%5Cnhttp://www.mdpi.com/2073-4395/3/2/275>>

CONNOR, D. J. et al. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: A review. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 169, p. 71–93, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.010>>

CORNWELL, W. K. et al. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 1065–1071, 2008.

CUI, H. et al. The combined effects of cover crops and symbiotic microbes on phosphatase gene and organic phosphorus hydrolysis in

subtropical orchard soils. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 82, p. 119–126, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.003>>

CUQUEL, F. L. et al. Nitrogen and potassium fertilization affecting the plum postharvest quality. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 33, n. spe1, p. 328–336, 2011.

DA SILVA, J. T. A.; DA SILVA, I. P.; SIMÃO, F. R. Produção e nutrição de limoeiro “Tahiti” em função da adubação com nitrogênio e potássio em cinco safras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 51, n. 4, p. 357–365, 2016.

DAR, M. A. et al. Relationship of leaf nutrient content with fruit yield and quality of pear. **Journal of Environmental Biology**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 649–653, 2015.

DE ALMEIDA, J. A.; CORRÊA, J.; SCHMITT, C. Clay mineralogy of basaltic hillsides soils in the western state of Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 42, p. 1–17, 2018.

DE OLIVEIRA, C. M. B. et al. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em latossolo bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de langmuir. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 38, n. 6, p. 1805–1815, 2014.

DE OLIVEIRA, R. A. et al. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 41, p. 1–16, 2017.

DEMESTIHAS, C. et al. A simulation study of synergies and tradeoffs between multiple ecosystem services in apple orchards. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 236, n. April 2018, p. 1–16, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.073>>

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 1714–1723, 2012.

ERIKSSON, A. K.; GUSTAFSSON, J. P.; HESTERBERG, D. Phosphorus speciation of clay fractions from long-term fertility experiments in Sweden. **Geoderma**, [s. l.], v. 241–242, p. 68–74, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.023>>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. [s. l.]: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EPAGRI. CEPA - Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. Publicações - Fruticultura. **Estudo e Levantamento da Fruticultura catarinense**. Disponível em: <https://cepa.epagri.sc.gov.br/index.php/publicacoes/fruticultura/estudo-e-levantamento-da-fruticultura-catarinense/>. Acesso em 20/04/2019.

ERNANI, P. R. et al. Addition of nitrogen had no effect on yield

and quality of apples in an high density orchard carrying a dwarf rootstock. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 1113–1118, 2008.

FACHINELLO, J. C. et al. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 33, n. spe1, p. 109–120, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000500014&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>

FAO. **FAOSTAT**: Production crops pears 1961-2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#compare>>. Acesso em: 20/04/2019.

FERREIRA, P. A. A. et al. Biomass decomposition and nutrient release from black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 1621–1632, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000500027&lng=en&nrm=iso&tlng=en>

GATIBONI, L. C. et al. Soil Phosphorus Thresholds in Evaluating Risk of Environmental Transfer To Surface Waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 39, n. 4, p. 1225–1234, 2015.

GÉNARD, M.; GOUBLE, B. ETHY . A Theory of Fruit Climacteric Ethylene Emission. **Plant physiology**, [s. l.], v. 139, n. 1, p. 531–545, 2005.

GIONGO, V. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciencia Agronomica**, [s. l.], v. 42, n. 3, p. 611–618, 2011.

GIRI, A. et al. Heat Stress Decreases Levels of Nutrient-Uptake and -Assimilation Proteins in Tomato Roots. **Plants**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 6, 2017.

GOBBI, E. et al. Erosão hídrica associada a algumas variáveis hidrológicas em pomar de maçã submetido a diferentes manejos do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1013–1024, 2011.

GÓMEZ-MUÑOZ, B. et al. Nutrient dynamics during decomposition of the residues from a sown legume or ruderal plant cover in an olive oil orchard. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 184, p. 115–123, 2014.

GUPPY, C. N. et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Australian Journal of Soil Research**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 189–202, 2005.

GWANPUA, S. G. et al. Expression analysis of candidate cell wall-related genes associated with changes in pectin biochemistry during postharvest apple softening. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 112, p. 176–185, 2016.

HARGREAVES, J.; ADL, M.; WARMAN, P. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 123, n. 1–3, p. 1–14, 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880907001909>>. Acesso em: 4 out. 2012.

HARRISON-KIRK, T. et al. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Changes in soil organic matter fractions and relationships with C and N mineralisation. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 74, p. 50–60, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.02.021>>

HORN, D. et al. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 77–85, 2006.

HUNSCHE, M.; BRACKMANN, A.; ERNANI, R. Efeito da adubação potássica na qualidade pós-colheita de maçãs ‘Fuji’. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 489–496, 2003.

IBGE. **Produção Agrícola 2018**. Levantamento sistemático da produção agrícola 2018. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201612.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201612.pdf)>. Acesso em 24/04/2019.

IKINCI, A. et al. Influence of rootstocks on growth, yield, fruit quality and leaf mineral element contents of pear cv. “Santa Maria” in semi-arid conditions. **Biological Research**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 1–8, 2014.

INFOAGRO. Sistema Integrado de Informações Agropecuárias da Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca de Santa Catarina. Preços produto. Preço de produtos mês SC. Disponível em: <http://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/precos/submenu-do-precos>. Acesso em 04/04/2019.

ISMAILI, K.; ISMAILI, M.; IBIJBIJEN, J. The use of ¹³C and ¹⁵N based isotopic techniques for assessing soil C and N changes under conservation agriculture. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 64, p. 1–7, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2014.12.005>>

JACOMINO, A. P.; MENDONÇA, K.; KLUGE, R. A. Armazenamento refrigerado de limões “Siciliano” tratados com etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 45–48, 2005.

JANICK, J. The Pear in History, Literature, Popular Culture, and Art. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 596, p. 41–52, 2002.

JIMÉNEZ-MORENO, M. J.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Influence of nutritional status of phosphorus on flowering in the olive (*Olea*

europaea L.). **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 223, n. March, p. 1–4, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.028>>

JONES, B. A Guide for the Hydroponic and Soilless Culture Grower. [s. l.], p. 194–195, 1983.

KAMINSKI, J. et al. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 1003–1010, 2007.

KAMINSKI, J. et al. Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 783–791, 2010.

KISSEL, D. E.; CABRERA, M. L.; PARAMASIVAM, S. Ammonium, Ammonia, and Urea Reactions in Soils. **Nitrogen in Agricultural Systems**, [s. l.], n. 1988, p. 101–155, 2008.

KRAMER, A. W. et al. Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 91, n. 1–3, p. 233–243, 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880901002262>>

LI, W. et al. Plant HAK/KUP/KT K⁺ transporters: Function and regulation. **Seminars in Cell and Developmental Biology**, [s. l.], v. 74, p. 133–141, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.07.009>>

LIANG, B. et al. Soil amendment alters soil physicochemical properties and bacterial community structure of a replanted apple orchard. **Microbiological Research**, [s. l.], v. 216, p. 1–11, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.07.010>>

LIMA, A. M. ; NEVES, J. C. L.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 903–909, 2005.

LIPECKI, J.; BERBEĆ, S. Soil management in perennial crops: orchards and hop gardens. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 43, n. 1–2, p. 169–184, 1997. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198797000391>>

LUTZ, I. A. **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos** IV. São Paulo.

MACHADO, B. D. et al. Compatibilidade fenotípica entre cultivares de pereiras europeias e porta-enxertos de marmeleiro. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 45, n. 9, p. 1551–1556, 2015.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants** **British Library Cataloguing-in-Publication Data**. 5 ed ed. [s.l.] : Elsevier, 2012. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052>>

MARTIN, M. S. De; STEFFENS, C. A.; VIDAL, C. Escurecimento da polpa em pera ‘ Rocha ’ influenciado pela composição mineral do fruto e condições de atmosfera controlada Flesh browning in ‘ Rocha ’ pear as affected by fruit mineral composition and controlled atmosphere conditions. **Bragantia**, [s. l.], v. 76, n. 2, p. 318–326, 2017.

MARTIN, M. S. et al. Qualidade De Peras ‘Rocha’ Armazenadas Em Atmosfera Controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 73–82, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452015000100073&lang=pt>

MARTINEZ, H. E. P. et al. Short-term water stress affecting NO₃-absorption by almond plants. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 197, n. August 2016, p. 50–56, 2015.

MASCIA, F. et al. Functional analysis of photosynthetic pigment binding complexes in the green alga *Haematococcus pluvialis* reveals distribution of astaxanthin in Photosystems. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1–14, 2017.

MCBRIDE, M.B. Surface chemistry of soil minerals. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2 ed. [s.l.]: SSSA. p.35-88, 1989.

MEAGHER, R. L.; MEYER, J. R. Effects of ground cover management on certain abiotic and biotic interactions in peach orchard ecosystems. **Crop Protection**, [s. l.], v. 9, n. February, p. 65–72, 1990.

MÉDIÈNE, S. et al. Influence of nitrogen availability on shoot development in young peach trees [*Prunus persica* (L.) Batsch]. **Trees**, [s. l.], v. 16, n. 8, p. 547–554, 2002. Disponível em: <<http://link.springer.de/link/service/journals/00468/bibs/2016008/20160547.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

MEIER, E. A. et al. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 75, n. 1–3, p. 101–114, 2006.

MELLO, L. M. R. De. **Produção e mercado da pera de 2001 a 2010: panorama nacional e mundial**, Embrapa, 2013.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo - características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, 1 ed [s.l.]:Autor, 1991.

MONTANARO, G. et al. Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 217, p. 92–101, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>>

MONTES, R. M. et al. Nitrogen and potassium fertilization in a

guava orchard evaluated for five cycles: Soil cationic balance. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 40, p. 1–11, 2016.

MORIWAKI, T. et al. Nitrogen-improved photosynthesis quantum yield is driven by increased thylakoid density, enhancing green light absorption. **Plant Science**, [s. l.], v. 278, p. 1–11, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.10.012>>

MORUGÁN-CORONADO, A. et al. The effect of moisture on soil microbial properties and nitrogen cyclers in Mediterranean sweet orange orchards under organic and inorganic fertilization. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 655, p. 158–167, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.174>>

MOTA, M. et al. Preferential ammonium uptake during growth cycle and identification of ammonium transporter genes in young pear trees. **Journal of Plant Nutrition**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 798–814, 2011.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytical Chemistry ACTA**, [s. l.], v. 27, p. 31–36, 1962.

NASCENTE, A. S.; STONE, L. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil chemical properties affected by cover crops under no-tillage system. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 62, n. 4, p. 401–409, 2015.

NATALE, W. et al. Dose mais econômica de adubo nitrogenado para goiabeira em formação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 196–198, 1996.

NETO, C. et al. Decomposição in situ de folhas senescentes de pereira (*Pyrus communis* L. cv. Rocha). **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 131–143, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2007000200010&lng=pt&nrm=iso>

NETO, C. et al. Nitrogen distribution, remobilization and recycling in young orchard of non-bearing ‘Rocha’ pear trees. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 118, n. 4, p. 299–307, 2008.

NETO, C. B. et al. Assessing the nitrogen nutritional status of young non-bearing “Rocha” pear trees grown in a mediterranean region by using a chlorophyll meter. **Journal of Plant Nutrition**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 627–639, 2011.

NETO, C.; CARRANCA, C.; CLEMENTE, J. Senescent leaf decomposition in a Mediterranean pear orchard. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 34–40, 2009.

NEVISON, C. et al. Denitrification, leaching, and river nitrogen export in the Community Earth System Model Cynthia. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, [s. l.], v. 6, p. 712–738, 2016.

NIEVES-CORDONES, M. et al. K⁺ uptake in plant roots. The systems involved, their regulation and parallels in other organisms. **Journal**

of **Plant Physiology**, [s. l.], v. 171, n. 9, p. 688–695, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2013.09.021>>

NOVARA, A. et al. Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 652, p. 300–306, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.247>>

NYAKATAWA, E. Z.; REDDY, K. C.; SISTANI, K. R. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. **Soil & Tillage Research**, [s. l.], v. 58, n. 1–2, p. 69–79, 2001.

OLIVEIRA, B. S. et al. Nutrition, productivity and soil chemical properties in an apple orchard under weed management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 104, n. 2, 2016. a.

OLIVEIRA, B. S. et al. Nutrition, productivity and soil chemical properties in an apple orchard under weed management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 104, n. 2, p. 247–258, 2016. b.

PASA, M. D. S. et al. Desenvolvimento, produtividade e qualidade de peras sobre porta-enxertos de marmeleiro e *Pyrus calleryana*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 873–880, 2010.

PASA, M. da S. et al. Hábito de frutiificação e produção de pereiras sobre diferentes porta-enxertos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 46, n. 9, p. 998–1005, 2011.

PASA, M. da S. et al. Performance of “Rocha” and “Santa Maria” pears as affected by planting density. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 126–131, 2015.

PAULA, B. V. De et al. Morphological and kinetic parameters of the uptake of nitrogen forms in clonal peach rootstocks. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 239, n. May, p. 205–209, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.038>>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007.

PEOPLES, M. B. et al. Can differences in ¹⁵N natural abundance be used to quantify the transfer of nitrogen from legumes to neighbouring non-legume plant species? **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 87, n. May, p. 97–109, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.04.010>>

PÉREZ-ÁLVAREZ, E. P. et al. Influence of two different cover crops on soil N availability, N nutritional status, and grape yeast-assimilable N (YAN) in a cv. Tempranillo vineyard. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 390, n. 1–2, p. 143–156, 2015.

PICCIN, R. et al. Distribution and redistribution of phosphorus forms in grapevines. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 218, p. 125–131, 2017. a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.023>>

PICCIN, R. et al. Phosphorus forms in leaves and their relationships with must composition and yield in grapevines. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 52, n. 5, p. 319–327, 2017. b.

PII, Y. et al. Induction of high-affinity NO₃⁻ uptake in grapevine roots is an active process correlated to the expression of specific members of the NRT2 and plasma membrane H⁺-ATPase gene families. **Functional Plant Biology**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 353–365, 2014.

PLAZA-BONILLA, D. et al. Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 212, p. 1–12, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.014>>

POLICARPO, M. et al. Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (*Prunus persica*) tree genotypes under a mediterranean climate. **Plant and Soil**, [s. l.], n. 1993, p. 207–214, 2002.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit ripening phenomena-An overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 1–19, 2007.

RAMOS, M. E. et al. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 6–14, 2010. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139309001504>>. Acesso em: 11 out. 2012.

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 78, p. 65–75, 2014. a.

REDIN, M. et al. Carbon mineralization in soil of roots from twenty crop species, as affected by their chemical composition and botanical family. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 378, n. 1–2, p. 205–214, 2014. b. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11104-013-2021-5>>

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 78, p. 65–75, 2014. c.

REDIN, M. et al. Carbon mineralization in soil of roots from twenty crop species, as affected by their chemical composition and botanical family. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 378, n. 1–2, p. 205–214, 2014. d.

ROCCUZZO, G. et al. Seasonal dynamics of root uptake and spring remobilisation of nitrogen in field grown orange trees. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 226, n. August, p. 223–230, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.010>>

ROCHA, J. D. G. et al. Cinética de absorção de nitrogênio e acúmulo de frações solúveis nitrogenadas e açúcares em girasol. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 381–390, 2014.

RODRIGUES, M. Â. et al. Fertilizer recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 142, p. 205–211, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.024>>

RODRIGUES, M. Â. et al. Soil nitrogen availability in olive orchards after mulching legume cover crop residues. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 158, p. 45–51, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.035>>

ROMBOLÀ, A. D. et al. Nutrição e manejo do solo em fruteiras de caroço em regiões de clima temperado. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 639–654, 2012.

ROSEN, C. J.; ALLAN, D. L. Exploring the benefits of organic nutrient sources for crop production and soil quality. **HortTechnology**, [s. l.], v. 17, n. December, p. 422–430, 2007. Disponível em: <<http://horttech.ashspublications.org/content/17/4/422.short>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

RUBIO-COVARRUBIAS, O. a. et al. Evaluating foliar nitrogen compounds as indicators of nitrogen status in *Prunus persica* trees. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 120, n. 1, p. 27–33, 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423808003944>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

RUFAT, J. et al. Interaction between water and nitrogen management in peaches for processing. **Irrigation Science**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 321–329, 2010. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00271-010-0234-4>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

RUIZ, H.A. Estimativa dos parâmetros cinéticos Km e Vmax por uma aproximação gráfico-matemática. **Revista Ceres**, [s. l.], v.32, p.79-84, 1985.

RUIZ, R. Effects of different potassium fertilizers on yield, fruit quality and nutritional status of “Fairlane” nectarine trees and on soil fertility. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 721, p. 185–190, 2006.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 185–194, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>>

SANES, F. S. M. et al. Morfologia de raízes e cinética de absorção de potássio em genótipos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 688–697, 2013.

SANTOS, H. G. Dos. **Sistema Brasileiro de Classificação de**

Solos. [s.l.] : EMBRAPA Solos, 2013. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07205a&AN=uls.325781&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>

SANTOS, R. S. S. Dos; NAVA, D. E. **500 Perguntas 500 Respostas Pera**. Embrapa ed. Brasília.

SCHEEREN, L. W. et al. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud., na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 169–176, 2002.

SCHEFFER, R. a.; AERTS, R. Root decomposition and soil nutrient and carbon cycling in two temperate fen ecosystems. **Oikos**, [s. l.], v. 91, n. 3, p. 541–549, 2000. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3547531>>

SEZERINO, A. A.; ORTH, A. I. Polinização da pereira-portuguesa em Bom Retiro-sc, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 943–951, 2015.

SIMONSSON, M. et al. Pools and solubility of soil phosphorus as affected by liming in long-term agricultural field experiments. **Geoderma**, [s. l.], v. 315, n. January 2017, p. 208–219, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.019>>

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. 12 ed. [s.l.]: U.S. Gov. Print. Office, 2014.

SOLARI, L. I.; JOHNSON, S.; DEJONG, T. M. Relationship of water status to vegetative growth and leaf gas exchange of peach (*Prunus persica*) trees on different rootstocks. **Tree physiology**, [s. l.], v. 26, n. 10, p. 1333–41, 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16815835>>

SORRENTI, G. et al. Nutrient removal by apple, pear and cherry nursery trees. **Italian Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 96–101, 2017.

SOUZA, F. De et al. Qualidade de maçãs “Fuji” influenciada pela adubação nitrogenada e potássica em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 305–315, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452013000100035&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>

STÜPP, J. J. et al. Composição Mineral, Sanidade E Qualidade De Maçãs Em Pomares Convencionais E Orgânicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 230–239, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452015000100230&lng=pt&tlng=pt>

TAGESSON, T. et al. Dynamics in carbon exchange fluxes for a grazed semi-arid savanna ecosystem in West Africa. **Agriculture**,

Ecosystems and Environment, [s. l.], v. 205, p. 15–24, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.017>>

TAGLIAVINI, M. et al. Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 118, n. 1–4, p. 191–200, 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880906001708>>. Acesso em: 11 out. 2012.

TAGLIAVINI, M.; MILLARD, P.; QUARTIERI, M. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine (*Prunus persica* var. nectarina) trees. **Tree physiology**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 203–207, 1998. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12651390>>

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRG, 1995.

TERAVEST, D. et al. Influence of orchard floor management and compost application timing on nitrogen partitioning in apple trees. **HortScience**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 637–642, 2010.

TER BRAAK, C.J.F.; P. SMILAUER. Canoco reference manual and cano draw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). ithaca, microcomputer power, 2002. 500p, 2002.

TIECHER, T. L. et al. Physiological and nutritional status of black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grown in soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 106, p. 253–263, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.015>>

TIECHER, T. L. et al. Tolerance and translocation of heavy metals in young grapevine (*Vitis vinifera*) grown in sandy acidic soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 222, n. January, p. 203–212, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.026>>

TOEBE, M. et al. Relações lineares entre caracteres de frutos de maçã. **Bragantia**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 396–400, 2016.

TOMASI, N. et al. Induction of nitrate uptake in Sauvignon Blanc and Chardonnay grapevines depends on the scion and is affected by the rootstock. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 331–338, 2015.

TONITTO, C.; DAVID, M. B.; DRINKWATER, L. E. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 112, n. 1, p. 58–72, 2006. Disponível em:

<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880905003749>>. Acesso em: 11 out. 2012.

TOSELLI, M. Nutritional Implications of Organic Management in Fruit Tree Production. **Acta Horticulturae**, [s. l.], p. 41–48, 2010.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 918, 2000.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Evaluation of a 15N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugar cane. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 226–234, 1994.

VENTURA, M. et al. Nutrient release during decomposition of leaf litter in a peach (*Prunus persica* L.) orchard. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 87, n. 1, p. 115–125, 2010.

VIEIRA, C. B. et al. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 188–198, 2013.

WANG, Y.; WU, W. H. Regulation of potassium transport and signaling in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, [s. l.], v. 39, p. 123–128, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.006>>

WEI, H. et al. Effects of sod cultivation on soil nutrients in orchards across China: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 169, p. 16–24, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.01.009>>

WYLAND, L. J. et al. Winter cover crops in a vegetable cropping system: Impacts on nitrate leaching , soil water , crop yield , pests and management costs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 59, p. 1–17, 1996.

YANG, B. . et al. Dynamic changes of nutrition in litchi foliar and effects of potassium-nitrogen fertilization ratio. **Journal of soil science and plant nutrition**, [s. l.], v. 15, n. ahead, p. 0–0, 2015.

YANG, T. et al. Nitrate uptake kinetics of grapevine under root restriction. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 111, n. 4, p. 358–364, 2007.

YANG, X.; LI, Z.; CHENG, C. Effect of Conservation Tillage Practices on Soil Phosphorus Nutrition in an Apple Orchard. **Horticultural Plant Journal**, [s. l.], v. 2, n. 6, p. 331–337, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.hpj.2016.11.005>>

ZALAMENA, J. et al. Produtividade e composição de uva e de vinho de videiras consorciadas com plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 182–189, 2013.

ZAPATA, F. et al. Nitrogen (15N) fertiliser use efficiency in

peach (*Prunus persica* L .) cv . Goldencrest trees in Chile. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 97, p. 279–287, 2003.

ZENG, D. H. et al. Carbon mineralization of tree leaf litter and crop residues from poplar-based agroforestry systems in Northeast China: A laboratory study. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 133–137, 2010.

ZHANG, L. X. et al. ¹⁵Nitrogen study on absorption, distribution and utilization of nitrogen applied in early summer in red fuji apple. **Journal of Plant Nutrition**, [s. l.], v. 35, n. 10, p. 1557–1571, 2012.

ZHANG, Y. et al. Effect of orchard age on soil nitrogen transformation in subtropical China and implications. **Journal of Environmental Sciences (China)**, [s. l.], v. 34, p. 10–19, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2015.03.005>>

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture--status and perspectives. **Journal of plant physiology**, [s. l.], v. 171, n. 9, p. 656–69, 2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24140002>>

9. APÊNDICES



Figura 19. Estudo 1 – Experimento 1 – Parâmetros cinéticos relacionados a eficiência de absorção de formas de nitrogênio em pereira (*Pyrus communis*). (a) lavagem de raízes, (b) medidas da altura e diâmetro de plantas antes da instalação do experimento, (c) leituras noturnas de fluorescência e (d) condução do experimento. Fonte: autora.



Figura 20. Estudo 1 – Experimento 3 – Contribuição de N derivado da decomposição da parte aérea de aveia branca (*Avena sativa*) e centeio (*Secale cereale*) para a nutrição de pereiras. (a) cultivo de aveia branca e centeio em casa de vegetação, (b) preparo da solução contendo isótopos de ^{15}N a ser aplicada nas espécies de plantas de cobertura, (c) aplicação do resíduo das plantas de cobertura na projeção da copa de pereiras, (d) colheitas das plantas de pereiras. Fonte: autora.



Figura 21. Estudo 2 - Experimento 2 - Produtividade e qualidade de frutos em de pereiras (*Pyrus communis*) com longo histórico de aplicações de potássio no solo. (a) poda de pereiras em agosto, (b) adubação potássica da pereira em fevereiro (c, d, e) e colheita. Fonte: autora.

10. VITA

Paula Beatriz Sete, filha de Paulo Inacio Sete e Roseli Albino Sete, nasceu em 10 de agosto de 1986, em Balneário Camboriú, Santa Catarina (SC).

Cursou as séries iniciais (1^a à 4^a série) na Escola Municipal Clotilde Ramos Chaves e restante do ensino fundamental (5 a 8^o série) nos colégios estaduais Professor Mário Garcia e Professor José Arantes em Camboriú (SC). Em 2001, ingressou no Colégio Agrícola de Camboriú vinculado a Universidade Federal de Santa Catarina para o curso técnico em agropecuária concomitante ao ensino médio.

Em 2006 ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no Centro de Ciências Agrárias (CCA), em Florianópolis, SC. Durante o curso foi bolsista no Departamento de Engenharia Rural, sob orientação do Professor Paulo Emilio Lovato.

Realizou o Curso de Mestrado em Agroecossistemas do Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da UFSC, de dezembro de 2011 a novembro de 2013, sob orientação do Professor Dr. Gustavo Brunetto e co-orientação do Professor Dr. Jucinei José Comin e do Pesquisador Dr. George Wellington Bastos de Melo. A Dissertação foi intitulada “Aplicação de composto orgânico e sistema de manejo do solo em pomar de pessegueiro: resposta das plantas, perdas de nitrogênio e alteração dos atributos químicos do solo”.

Em março de 2015 iniciou seu Curso de Doutorado em Agroecossistemas no Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da UFSC, sob orientação do Professor Dr. Gustavo Brunetto e co-orientação do Professor Dr. Jucinei José Comin e da Pesquisadora Marlise Nara Ciotta. Realizou uma saída para o exterior, sendo pesquisadora visitante na *University of Guelph*, em Guelph, Canadá, de janeiro a julho de 2018, sob a supervisão do Professor Paul Voroney, com financiamento da Global Affairs Canadá através da bolsa Elap (Emerging Leaders in the Americas Program).