

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Guilherme Bergeijer da Rosa

**RELAÇÕES LINEARES ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO ASSOCIADOS AO DESEMPENHO
AGRONÔMICO NA CULTURA DO MILHO**

Santa Maria, RS
2022

Guilherme Bergeijer da Rosa

**RELAÇÕES LINEARES ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO ASSOCIADOS AO DESEMPENHO
AGRONÔMICO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Diego Nicolau Follmann

Santa Maria, RS
2022

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

da Rosa, Guilherme
RELAÇÕES LINEARES ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO ASSOCIADOS AO
DESEMPENHO AGRONÔMICO NA CULTURA DO MILHO / Guilherme da
Rosa.- 2022.
53 p.; 30 cm

Orientador: Diego Nicolau Follmann
Coorientador: Alessandro Dal'Col Lúcio
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Relações Lineares 2. Indicadores da Qualidade do
Solo 3. Fauna do Solo 4. Produtividade de Grãos de Milho
I. Nicolau Follmann, Diego II. Dal'Col Lúcio,
Alessandro III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Fatta CRB 10/1728.

Declaro, GUILHERME DA ROSA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Guilherme Bergeijer da Rosa

**RELAÇÕES LINEARES ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS
INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO ASSOCIADOS AO DESEMPENHO
AGRONÔMICO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Aprovado em 18 de agosto de 2022:

Diego Nicolau Follmann, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Maicon Nardino, Prof. Dr. (UFV)

Rodrigo Josemar Seminoti Jacques, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

Dedico essa dissertação aos meus pais, Jair e Noelcy.

AGRADECIMENTOS

- aos meus pais Jair e Noeley por todo o amor, suporte e dedicação na minha criação;
- à UFSM pela oportunidade de cursar a pós-graduação e por toda a estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho;
- à CAPES pela concessão de bolsa de estudo;
- ao professor orientador, Diego Nicolau Follmann, pela orientação, incentivo e compartilhamento de experiências e conhecimentos;
- aos professores e pesquisadores, Alessandro Dal'Col Lúcio, Astor Henrique Nied, Ivan Maldaner, Maicon Nardino, Rodrigo Josemar Seminoti Jacques e Volmir Sérgio Marchioro, pela disponibilidade e contribuições na realização deste trabalho;
- aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Ecofisiologia e Manejo de Culturas Anuais - UFSM, pelo auxílio nas atividades deste trabalho, em especial aos acadêmicos Felipe Bolzan e Henrique Eggers;
- aos integrantes do Laboratório de Biologia do Solo - UFSM, pelo auxílio nas atividades deste trabalho, em especial a acadêmica Valéria Ortaça Portela;
- aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Melhoramento de Plantas, UFSM – Campus Frederico Westphalen, pelo auxílio nas atividades deste trabalho, em especial ao acadêmico Luís Klein;
- ao IFFar - campus São Vicente do Sul, pela estrutura disponibilizada e aos acadêmicos pelo auxílio nas atividades deste trabalho;
- à todos os demais amigos, que mesmo não estando aqui citados nominalmente, estiveram torcendo por mim durante todo esse tempo.

Muito Obrigado!

RESUMO

RELAÇÕES LINEARES ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO ASSOCIADOS AO DESEMPENHO AGRONÔMICO NA CULTURA DO MILHO

AUTOR: Guilherme Bergeijer da Rosa
ORIENTADOR: Diego Nicolau Follmann

A compreensão das relações entre atributos do solo e o desenvolvimento e crescimento de plantas de milho é um importante fator para que seja elevada a produtividade de grãos com sustentabilidade no sistema produtivo. O objetivo deste trabalho foi relacionar indicadores da qualidade do solo: atributos biológicos e químicos com características relacionadas a produção de grãos de milho, em locais de clima subtropical no Brasil. Para isso, foram conduzidos seis experimentos em três locais, Frederico Westphalen - RS e Santa Maria - RS em cultivo de sequeiro; e São Vicente do Sul - RS com irrigação por pivô central, no ano agrícola 2020/2021, divididos em 2 épocas de semeadura a primeira no mês de setembro e a segunda no mês de outubro, totalizando seis ambientes (três locais x duas épocas de semeadura). As avaliações realizadas foram análise química do solo (macronutrientes + pH, Al e MO), análise biológica (respiração basal do solo, taxa de decomposição e fauna do solo), componentes de produção (número de fileira por espiga, número de grãos por fileira e massa de mil grãos) e a produtividade de grãos. As análises estatísticas utilizadas para avaliação das variáveis foram correlações canônicas e comparação de médias. No estudo de correlações canônicas foi observado que a dependência linear entre os grupos de variáveis é dependente das condições meteorológicas. Sob sistema de cultivo irrigado por pivô central há dependência linear entre os indicadores biológicos e químicos do solo. Já sob sistema de cultivo de milho em sequeiro entre os indicadores biológicos do solo e os componentes de produção de grãos de milho. Para o estudo de diversidade da entomofauna edáfica, pode ser observado que o fator época tem menor influência na composição da fauna do que o fator local. Mesmo com diferenças na frequência de indivíduos entre os locais, a classificação em 4 grupos taxonômicos corresponde a mais de 80% dos indivíduos coletados, sendo os grupos Araneae e Coleoptera correspondentes a mais de 50% da frequência relativa de indivíduos observados no estudo. A taxa de decomposição de resíduo, índice de diversidade de Margalef e os grupos taxonômicos Acarina, Araneae, Oligochaeta e Chilopoda tiveram correlação positiva com produtividade de grãos. Áreas com maiores produtividades de grãos tiveram condições propícias para uma taxa de decomposição mais rápida, conseqüentemente uma maior atividade dos organismos e ciclagem de nutrientes. Por fim, os resultados no presente estudo sugerem que seja considerado um conjunto amplo de atributos como indicadores da qualidade do solo, devido a resposta dos mesmos serem sensíveis a condições ambientais.

Palavras-chave: Correlações Canônicas. Microrganismo do Solo. Bioindicadores. Produtividade de Grãos. *Zea Mays* L.

ABSTRACT

LINEAR RELATIONSHIPS BETWEEN CHEMICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES INDICATORS OF SOIL QUALITY ASSOCIATED WITH AGRONOMIC PERFORMANCE IN CORN CULTURE

AUTOR: Guilherme Bergeijer da Rosa
ORIENTADOR: Diego Nicolau Follmann

Understanding the relationship between soil attributes and the development and growth of maize plants is an important factor for raising grain productivity with sustainability in the production system. The objective of this work was to relate soil quality indicators: biological and chemical attributes with characteristics related to corn grain production in subtropical climates in Brazil. For this, six experiments were carried out in three locations, Frederico Westphalen - RS and Santa Maria - RS in rainfed cultivation; and São Vicente do Sul - RS with central pivot irrigation, in the 2020/2021 crop year, divided into 2 sowing seasons, the first in September and the second in October, totaling six environments (three locations x two sowing seasons). The evaluations carried out were soil chemical analysis (macronutrients + pH, Al and MO), biological analysis (basal soil respiration, soil decomposition rate and soil fauna), yield components (number of rows per ear, number of grains per row and thousand-grain mass) and grain yield. The statistical analyzes used to evaluate the variables were canonical correlations and comparison of means. In the study of canonical correlations, it was observed that the linear dependence between the groups of variables is dependent on meteorological conditions. Under central pivot irrigation, there is a linear dependence between soil biological and chemical indicators. Already under rainfed corn cultivation system between soil biological indicators and corn grain production components. For the study of edaphic entomofauna diversity, it can be observed that the season factor has less influence on the fauna composition than the local factor. Even with differences in the frequency of individuals between the locations, the classification into 4 taxonomic groups corresponds to more than 80% of the individuals collected, with the Araneae and Coleoptera groups corresponding to more than 50% of the relative frequency of individuals observed in the study. The residue decomposition rate, Margalef diversity index and the taxonomic groups Acarina, Araneae, Oligochaeta and Chilopoda had a positive correlation with grain yield. Areas with higher grain yields had favorable conditions for a faster decomposition rate, consequently a greater activity of the organisms and nutrient cycling. Finally, the results in the present study suggest that a broad set of attributes should be considered as indicators of soil quality, since their response is sensitive to environmental conditions.

Keywords: Canonical Correlations. Different Environments. Bioindicators. Grain Yield. *Zea Mays* L.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. CAPÍTULO I	12
2.1. CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE INDICADORES BIOLÓGICOS E.....	12
QUÍMICOS DO SOLO COM COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MILHO.....	12
2.1.1. Introdução	13
2.1.2. Material e Métodos	14
2.1.3. Resultados e discussão	19
2.1.4. Conclusões	24
2.1.5. Referências	25
3. CAPÍTULO II	29
3.1. DIVERSIDADE DA ENTOMOFAUNA EDÁFICA PELOS ÍNDICES SHANNON, MARGALEF E PIELOU ASSOCIADA A CULTURA DO MILHO	29
3.1.1. Introdução	30
3.1.2. Material e Métodos	31
3.1.2.1. <i>Caracterização do local de estudo</i>	31
3.1.2.2. <i>Decomposição de resíduos vegetais</i>	35
3.1.2.3. <i>Amostragem de fauna do solo</i>	35
3.1.2.4. <i>Produtividade de grãos</i>	36
3.1.2.5. <i>Análise dos dados</i>	36
3.1.3. Resultados e Discussão	36
3.1.4. Conclusões	46
3.1.5. Referências	46
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é amplamente cultivada nas áreas agricultáveis do país, devido a sua grande importância no complexo agroindustrial brasileiro. A grande diversidade de genótipos permite adaptação da cultura a uma ampla condição ambiental. No entanto, alguns fatores limitam a expressão do máximo potencial produtivo pelas plantas, dentre eles, o déficit hídrico, indicado pela literatura como um dos principais responsáveis pelas oscilações na produtividade de grãos entre safras, e também, a condição e características do solo que representam grande limitação a altas produtividades, sendo que, a qualidade do solo pode ser determinada por atributos físicos, químicos e biológicos.

A qualidade do solo pode ser compreendida como a interação entre atributos físicos, químicos e biológicos, que juntos atuam em sinergia gerando um ambiente propício para o pleno desenvolvimento das plantas. Os atributos responsáveis pela qualidade física e química do solo, são estudados a mais tempo e já possuem manuais com escalas definidas para que cada característica possa ser classificada conforme a resposta das plantas e passíveis de serem efetuadas correções para melhorá-las. Entretanto, atributos biológicos do solo ainda são pouco explorados na agricultura, de modo geral, por serem mensuradas a presença e a atividade de organismos vivos, a variabilidade da resposta é maior, sendo assim, se faz necessária a avaliação de mais de um atributo para maior confiabilidade da resposta, devido à grande interação dos mesmos com o ambiente, justamente por esse motivo é difícil a construção de manuais com escalas de classificação.

Contudo, é sabido que os atributos biológicos também denominados de bioindicadores apresentam bom potencial para mensurar a qualidade do solo de forma rápida, pois, como dito anteriormente, são mais sensíveis a mudanças no seu habitat. Assim, a compreensão da interação entre os atributos qualitativos do solo e a resposta das plantas é uma oportunidade de construção de ferramentas que auxiliem no aprimoramento do conhecimento técnico sobre manejos que possam favorecer a expressão do máximo potencial produtivo pela cultura do milho.

A partir dos resultados do presente trabalho, poderá ser possível confirmar algumas hipóteses, tais como: os atributos indicadores de qualidade do solo avaliados influenciam diretamente os componentes e a produtividade de grãos na cultura do milho; existem relações lineares entre os atributos biológicos do solo com os atributos químicos do solo; e os atributos biológicos e químicos indicadores de qualidade do solo possuem valores diferentes em três

loais de cultivo de milho em região subtropical. Diante disso, objetivou-se com este estudo relacionar indicadores da qualidade do solo: atributos biológicos e químicos com características relacionadas a produção de grãos de milho, em locais de clima subtropical no Brasil.

2. CAPÍTULO I

2.1. CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE INDICADORES BIOLÓGICOS E QUÍMICOS DO SOLO COM COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MILHO

RESUMO - As relações entre indicadores da qualidade do solo com plantas de milho são importantes para a melhoria das práticas de manejo e para a sustentabilidade da produção agrícola. O objetivo deste trabalho, foi identificar correlações canônicas entre: atributos biológicos e químicos do solo com componentes de produção de grãos de milho, em clima subtropical no Brasil. Foram conduzidos seis experimentos em áreas de pesquisa, em duas épocas de semeadura em três locais, dois sem irrigação e um com irrigação, no ano agrícola 2020/2021. Avaliou-se a combinação entre três híbridos, três locais e seis repetições. Foram avaliados atributos biológicos (respiração basal do solo e taxa de decomposição dos resíduos vegetal) e químicos (macronutrientes, pH, Al e MO). Nas plantas de milho foram mensuradas as variáveis: número de fileira por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha^{-1}). Foi realizada a análise de correlação canônica entre os grupos de variáveis. Os resultados indicam que no local com irrigação ocorreu correlação canônica significativa entre os indicadores biológicos e químicos do solo. Já nos locais sem irrigação, ocorreu correlação canônica significativa entre os indicadores biológicos do solo e os componentes de produção de grãos de milho. Portanto, os resultados no presente estudo sugerem que seja considerado simultaneamente mais de um parâmetro como indicador da qualidade do solo, devido a resposta dos mesmos serem sensíveis as condições ambientais.

Palavras-chave: *Zea mays* L.. Correlação Linear. Bioindicadores de Qualidade de Solo. Propriedades Químicas do Solo.

CANONICAL CORRELATIONS BETWEEN BIOLOGICAL AND CHEMICAL SOIL INDICATORS AND CORN PLANT CHARACTERS

ABSTRACT - The relationships between soil quality indicators and corn plants are important for the improvement of management practices and for the sustainability of agricultural production. The objective of this work was to identify canonical correlations between: biological and chemical attributes of the soil with components of corn grain production, in a subtropical climate in Brazil. Six experiments were carried out in research areas, in two sowing times in three locations, two without irrigation and one with irrigation, in the 2020/2021 crop year. The combination of three hybrids, three sites and six replications was evaluated. Biological attributes (basal soil respiration and rate of decomposition of plant residues) and chemical attributes (macronutrients, pH, Al and MO) were evaluated. In corn plants, the variables were measured: number of row per ear, number of grains per row, thousand grain mass (g) and grain yield (kg ha^{-1}). A canonical correlation analysis was performed between the groups of variables. The results indicate that at the site with irrigation there was a significant canonical correlation between the biological and chemical indicators of the soil. On the other hand, in places without irrigation, there was a significant canonical correlation between the biological indicators of the soil and the components of corn grain production. Therefore, the

results in the present study suggest that more than one parameter should be considered simultaneously as an indicator of soil quality, since their response is sensitive to environmental conditions.

Key words: *Zea Mays* L.. Linear Correlation. Soil Quality Bioindicators. Soil Chemical Properties.

2.1.1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) apresenta destaque na agricultura brasileira e mundial devido à importância social e econômica. Nas extensas áreas de cultivo, a cultura responde a práticas de manejo e características de ambiente, como as condições do solo. A qualidade do solo é mensurada por indicadores que podem ser divididos em químicos, físicos e biológicos, os quais de modo geral são influenciados pelas condições ambientais e práticas de manejo (CAI et al., 2021; PANICO et al., 2020). Melhorias na qualidade do solo e conseqüentemente no rendimento das culturas, são observadas ao serem implementadas boas práticas de manejo oriundas do sistema de plantio direto. A rotação de culturas e a manutenção do solo coberto por plantas ou restos vegetais, são algumas das práticas conservacionistas que evitam o processo de erosão e a perda de solo, nutrientes e matéria orgânica, influenciando na atividade microbiana e conseqüentemente na fertilidade potencial do solo (LOPES et al., 2021; MOITINHO et al., 2015; PANICO et al., 2020).

O sistema de plantio direto, possibilita melhorias na qualidade do solo, favorecendo a expressão de caracteres na cultura do milho, que tem relação direta com a produtividade de grãos. Entre os indicadores biológicos, a atividade dos organismos e a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais tem recebido destaque devido a estreita relação entre eles, assim como pela relação com disponibilização de nutrientes às plantas. De modo geral, existe relação positiva entre a atividade dos organismos do solo, a velocidade de decomposição dos resíduos, a emissão de CO₂ e a mineralização de nutrientes. No entanto, a decomposição dos resíduos orgânicos é correlacionada também com outros fatores, como a composição química do material vegetal, a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica (CAI et al., 2021).

Dois indicadores químicos são considerados de grande relevância para a qualidade do solo, são a matéria orgânica e o pH (BÜNEMANN et al., 2018). A matéria orgânica auxilia na moldagem biológica, química e física do solo, por ser o reservatório de compostos orgânicos para os organismos edáficos, retém e disponibiliza nutrientes e água, e atua como agente

cimentante na agregação do solo (VIDAL et al., 2021). Já o pH está correlacionado com a disponibilização de nutrientes, com destaque para o fósforo nas condições tropicais e subtropicais (CARDOSO et al., 2013). Ele também influencia a atividade microbiana e a disponibilidade do alumínio, que é tóxico para plantas e organismos do solo (JONES et al., 2019). Os indicadores biológicos e químicos podem apresentar relação entre si, como nos estudos constataram estreita relação entre a emissão de CO₂ e o teor de matéria orgânica (MOITINHO et al., 2015) e a correlação significativa entre pH e a respiração basal do solo (LOPES et al., 2021).

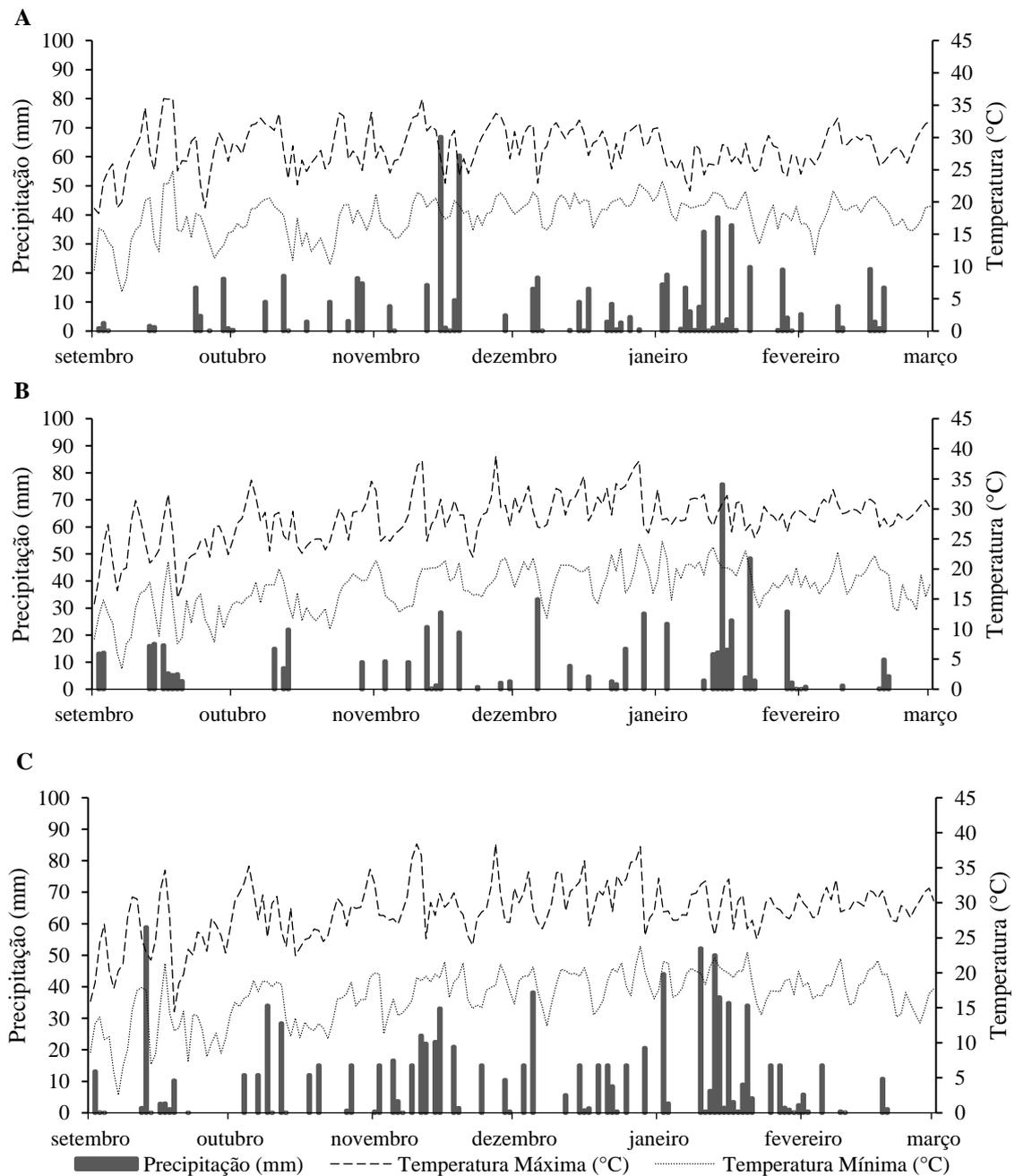
Determinar correlações entre as variáveis é importante, mas interpretações isoladas da correlação de Pearson podem causar distorções nos resultados obtidos. Assim análises de relações multivariadas, como as correlações canônicas, permitem que sejam estimadas as relações entre grupos de variáveis e a identificação da existência de dependência entre estes grupos (MINGOTI, 2005). Neste sentido, identificar as correlações lineares existentes entre os indicadores da qualidade do solo com componentes de produção de grãos de milho proporcionará informações que possibilitem melhorias no manejo do solo, para potencializar a produtividade de grãos de maneira sustentável. A hipótese do nosso trabalho é que os atributos indicadores da qualidade do solo possuam relação direta com os componentes de produção de grãos de milho e que a produtividade de grãos responda positivamente a melhorias na qualidade do solo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho, foi identificar correlações canônicas entre: atributos biológicos e químicos do solo com os componentes de produção de grãos de milho, em clima subtropical no Brasil

2.1.2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2020/2021, em três locais com aptidão para a produção de milho no estado do Rio Grande do Sul, sendo quatro experimentos sem irrigação (condição de sequeiro), localizados nos municípios de Frederico Westphalen (FW, 27° 21' 31,40" S e 53° 23' 57,80" W) e Santa Maria (SM, 29° 41' 23,10" S e 53° 47' 33,13" W); e dois experimento com irrigação por pivô central, localizado em São Vicente do Sul (SVS, 29° 41' 34,63" S e 54° 40' 43,04" W). Os solos das áreas experimentais foram classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico em FW e Argissolo Vermelho Distrófico arênico em SM e SVS (SANTOS, 2018). O clima dos três locais, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido com verões quentes (*Cfa*) (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos para caracterização de cada local foram obtidos de estações

meteorológicas automáticas, localizadas em até 600 metros de distância dos experimentos (Figura 1).

Figura 1 - Temperaturas máximas, mínimas e precipitação pluviométrica em Frederico Westphalen (A), Santa Maria (B) e São Vicente do Sul (C), no estado do Rio Grande do Sul, no período de 15/09 de 2020 a 15/03 de 2021



Fonte: Autor (2022).

O cultivo de inverno que antecedeu o milho foi do consórcio de plantas de cobertura de aveia preta (*Avena strigosa* L.) + nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Os experimentos foram instalados em blocos ao acaso, com três híbridos de milho (AG 9025 PRO3, MG 300 PW e DKB 230 PRO3) e seis repetições, totalizando 18 unidades experimentais por local. Os híbridos foram escolhidos com base na representatividade da área cultivada no estado. Ambos são híbridos simples, com elevado potencial produtivo e com grupo de maturidade semelhantes (dois superprecoces e um hiperprecoce, respectivamente, com ciclo variando entre 125 e 145 dias). As unidades experimentais foram compostas por seis fileiras, com espaçamento de 0,50 metros entre fileiras e cinco metros de comprimento, totalizando uma área de 15 m².

Antes da semeadura, foi realizada a amostragem de solo das áreas, seguida de adubação para expectativa de 12 t ha⁻¹ de grãos, conforme o Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2016). O superfosfato triplo e cloreto de potássio foram depositados no sulco de semeadura com o auxílio de uma semeadora/adubadora com sulcadores e a adubação nitrogenada foi aplicada na forma de ureia em cobertura quando as plantas atingiram os estádios V4 e V6. Os demais tratamentos culturais, como aplicação de fungicida, herbicida e inseticida, seguiram as indicações técnicas para a cultura do milho no estado do RS (RTAPM, 2017). A semeadura dos experimentos foi realizada entre a segunda quinzena dos meses de setembro e outubro, conforme zoneamento agrícola para cada um dos locais, de forma manual para aumentar a precisão experimental, com uma densidade de 70 mil plantas por hectare.

Para a realização do estudo de correlações lineares entre atributos biológicos e químicos do solo com os componentes de produção de grãos de milho, cada unidade experimental foi responsável por representar uma amostra. Para determinação dos atributos químicos do solo foi realizada a amostragem e análise individual em todas as 54 unidades experimentais, sendo que cada amostra foi composta por dez subamostras retiradas em cada parcela, coletadas nas cinco entrelinhas da parcela, com a utilização do trado, a profundidade de 0 – 10 centímetros, entre os estádios fenológicos vegetativos V4-V6 da cultura do milho, período em que é definido o potencial produtivo da cultura. As subamostras foram misturadas e constituíram uma única amostra por parcela, totalizando 54 análises de solo. Os demais procedimentos de coleta foram realizados conforme o Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2016). Os atributos avaliados foram: Argila (g kg⁻¹, densímetro), pH (em água 1:1), MO (g kg⁻¹, Walkley Black), P (mg dm⁻³, Mehlich⁻¹), K (mg dm⁻³, Mehlich⁻¹), Ca (cmol_c dm⁻³, KCl), Mg (cmol_c dm⁻³, KCl), Al (cmol_c dm⁻³, KCl), H+Al (cmol_c dm⁻³, titulação), CTC efetiva (cmol_c dm⁻³), Saturação Al (%), Saturação Bases (%) e Ca/Mg.

O método *Litter Bag* foi utilizado para mensurar a taxa de decomposição de resíduo vegetal pelos organismos do solo, conforme Bockock e Gilbert (1957), com adaptação. Para isso, foram confeccionados sacos de nylon medindo 20 x 15 centímetros, com uma malha de 5 x 5 milímetros, de modo a permitir a entrada de organismos decompositores da fauna do solo. Os sacos foram preenchidos com folhas verdes do terço médio de plantas de milho, que correspondiam a 20g de massa seca (em estufa de ar forçado, 60°C, 72 h). Quatro sacos foram distribuídos em cada unidade experimental de forma equidistante, em contato direto com o solo, entre os estádios fenológicos de VT e R1. Após 45 dias, foram retirados e secos para determinação da massa seca remanescente. Determinou-se o valor da constante de decomposição (k), estimada por Thomas e Asakawa (1993) pela equação:

$$X_t = X_0 \cdot e^{-kt}$$

Sendo: X_t a massa seca do material remanescente em t dias; X_0 a massa seca no tempo (t) zero ($t = 0$).

Também foi determinada a respiração basal do solo, conforme Alef e Nannipieri (1995). Foram coletadas seis subamostras de 0-10 centímetros de profundidade com trado, entre os estádios fenológicos de VT e R1 do milho, nas 54 unidades experimentais. As subamostras foram misturadas e constituíram uma única amostra por parcela, que foi mantida em caixa térmica com gelo durante a coleta e após em geladeira (4 - 6°C). A umidade gravimétrica foi determinada por pesagem das amostras após secagem a 105°C. Em laboratório cada amostra foi dividida em 3 subamostras de 50g de solo, que foram incubadas em frascos respirométricos, com NaOH 0,1M para captura do CO₂, durante sete dias (168 horas), no escuro à uma temperatura entre 25 e 28°C. Após a incubação, foi realizada a titulação com HCl 0,1M para determinação do C-CO₂, pela fórmula:

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = [(V_b - V_a) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000] / M_s / T$$

Onde: RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo; V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação do branco (sem solo); V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra com solo; M = molaridade exata do HCl (determinada com tris (hidroximetil) aminometano); M_s (g) = massa de solo seco e T = tempo de incubação da amostra em horas.

Os componentes de produção de grãos de milho foram determinados em 432 plantas, sendo que a média de oito plantas por parcela representou o valor da unidade experimental. Foram avaliados posteriormente à colheita: número de fileira por espiga (NF), número de grãos por fileira (NGF) e massa de mil grãos (MMG, em g). A produtividade de grãos (PROD, em kg ha⁻¹) foi estimada em uma área de 8 m² em cada parcela, composta pelas quatro fileiras centrais

por 4 metros de comprimento. A colheita foi realizada quando os grãos atingiram 20% de umidade, a qual foi corrigida para 13% e determinada a produtividade de grãos.

Realizou-se a estatística descritiva analisando os pressupostos para a execução das correlações canônicas para as 19 variáveis avaliadas. Foram formados três grupos de variáveis e realizado o diagnóstico de multicolinearidade dentro de cada grupo (grupo 1 com as variáveis químicas; grupo 2 com as variáveis biológicas do solo; e grupo 3 com as variáveis de plantas). A magnitude da multicolinearidade dentro de cada um dos grupos foi verificada por meio do

número de condição (NC) $NC = \frac{\lambda \max}{\lambda \min}$ que representa a razão entre o maior e o menor

autovalor da matriz de correlações e pelo fator de inflação de variância (VIF) $VIF = \frac{1}{1 - R_j^2}$,

onde R_j^2 é o coeficiente de determinação e foram classificados conforme o critério de Montgomery e Peck (1982), descrito em Cruz e Carneiro (2006).

Para as análises de correlação canônica a estimação da máxima correlação entre combinações lineares de caracteres do grupo 1 e 2, por exemplo, sendo X_1 e Y_1 as combinações lineares dos caracteres dos grupos 1 e 2, respectivamente, tem-se que: $X_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p$ e $Y_1 = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_qy_q$ em que: $a' = [a_1a_2\dots a_p]$ = vetor $1 \times p$ de pesos do carácter do grupo 1 e $b' = [b_1b_2\dots b_q]$ = vetor $1 \times q$ de pesos dos caracteres do II. A primeira correlação canônica será aquela que maximiza a relação entre X_1 e Y_1 . As funções X_1 e Y_1 formam o primeiro par canônico associado aquela correlação canônica expressa por:

$$r_1 = \frac{C\hat{ov}(X_1, Y_1)}{\sqrt{\hat{V}(X_1) \cdot \hat{V}(Y_1)}}, \text{ sendo } C\hat{ov}(X_1, Y_1) = a' S_{12} b, \hat{V}(X_1) = a' S_{11} a \text{ e } \hat{V}(Y_1) = b' S_{22} b \text{ em que: } S_{11} =$$

matriz $p \times p$ de covariâncias entre os caracteres do grupo 1; S_{22} = matriz $q \times q$ de covariâncias entre os caracteres do grupo 2; S_{12} = matriz $p \times q$ de covariâncias entre os caracteres do grupo 1 e 2 (CRUZ et al., 2012). As correlações canônicas entre os grupos de caracteres foram apresentadas pelas cargas canônicas cruzadas. A significância das correlações canônicas foi testada pelo teste qui-quadrado, a 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2020) e do aplicativo Microsoft Office Excel®.

2.1.3. Resultados e discussão

As condições meteorológicas durante a condução dos experimentos podem ser observadas na figura 1. A melhor distribuição no fornecimento de água durante o desenvolvimento da cultura em SVS é evidenciada pela disposição das colunas no gráfico (Figura 1C). Isso em decorrência do sistema de irrigação por pivô central. Nos ambientes de sequeiro FW (Figura 1A) e SM (Figura 1B), são observados períodos com ausência de precipitação ou com volumes reduzidos, inferiores a 10 mm, com destaque para a segunda quinzena dos meses de novembro e dezembro, podendo interferir no pleno desenvolvimento das plantas.

O acumulado de precipitação pluviométrica após a instalação dos *Litter bags* no campo foi de 139, 193 e 291 mm em FW, SM e SVS respectivamente. Acrescentando o volume precipitado nos 45 dias que antecederam a instalação dos *Litter bags*, os volumes em FW, SM e SVS foram de 352, 325 e 547 mm respectivamente. Destacando que além da uniformidade na distribuição, no ambiente irrigado, o volume total também foi superior aos ambientes de sequeiro. Diferenças contrastante em variáveis meteorológicas influenciam na dinâmica da fauna edáfica e conseqüentemente na taxa de decomposição de resíduo vegetal, além do desenvolvimento das plantas de milho (CAI et al., 2021).

Para atender ao critério de multicolinearidade de grau fraco, ou seja, $NC < 100$ e ausência de $VIF's \geq 10$ dentro do mesmo grupo de variáveis, foi necessário realizar a exclusão das variáveis Ca, Mg, Al, H+Al, Saturação de Bases e Argila, pois estas variáveis estavam inflacionando a multicolinearidade dentro do grupo 1. Nos grupos 2 e 3 não foi necessário a exclusão de nenhuma variável para a análise de correlações canônicas.

São Vicente do Sul foi o único local que houve correlação canônica significativa ($r=0,941$, $p<0,05$), entre os grupos 1 e 2 (variáveis químicas e biológicas do solo, respectivamente), por meio do primeiro par canônico (Tabela 1). A respiração basal do solo e a constante de decomposição (k) (grupo 2) estiveram diretamente correlacionadas com o teor de matéria orgânica e de fósforo, e inversamente ao pH do solo (grupo 1). As demais variáveis do grupo 1: CTC Efetiva, Saturação por alumínio, potássio e relação cálcio magnésio tiveram baixa magnitude, inferior a 0,400, não gerando grande interferência na correlação linear entre os grupos.

A relação direta dentro do grupo 1, entre a respiração basal do solo e a constante de decomposição (k) indica que a produção de CO_2 foi devido a decomposição de resíduo vegetal e não da decomposição da matéria orgânica do solo.

Tabela 1 - Correlações e cargas canônicas cruzadas estimadas entre (A) variáveis biológicas do solo e variáveis químicas do solo, (B) caracteres de plantas de milho e variáveis químicas do solo e (C) variáveis biológicas do solo e componentes de produção de milho em três locais. Frederico Westphalen, Santa Maria e São Vicente do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

	Frederico Westphalen	Santa Maria	São Vicente do Sul
	Cargas Canônicas Cruzadas		
(A)	----- Variáveis Biológicas do Solo -----		
RBS	0,420	-0,877	0,808
Const. (k)	-0,838	-0,294	0,857
	----- Variáveis Químicas do Solo -----		
pH	-0,448	-0,299	-0,545
CTC efetiva	-0,162	-0,554	-0,265
Sat. Alumínio	-0,133	0,454	-0,068
MO	-0,458	-0,796	0,798
P	-0,230	-0,124	0,654
K	-0,562	-0,579	-0,108
Ca/Mg	-0,520	-0,003	0,339
Correlação canônica (r)	0,857	0,877	0,941
p-valor	0,150 ^{ns}	0,189 ^{ns}	0,008 [*]
(B)	----- Componentes de Produção de Grãos de Milho -----		
NF	0,401	0,486	0,252
NGF	0,877	-0,730	0,413
MMG	0,603	-0,493	-0,330
PROD	0,814	-0,752	0,567
	----- Variáveis Químicas do Solo -----		
pH	0,561	0,086	0,076
CTC efetiva	0,313	0,002	0,251
Sat. Alumínio	0,036	-0,025	0,193
MO	0,642	0,658	-0,361
P	0,490	0,055	-0,374
K	0,817	0,350	-0,018
Ca/Mg	0,691	-0,158	-0,087
Correlação canônica (r)	0,970	0,845	0,793
p-valor	0,059 ^{ns}	0,519 ^{ns}	0,954 ^{ns}
(C)	----- Variáveis Biológicas do Solo -----		
RBS	0,315	-0,702	-0,734
Const. (k)	-0,856	-0,613	-0,458
	----- Componentes de Produção de Grãos de Milho -----		
NF	-0,300	-0,012	0,260
NGF	-0,633	0,685	0,292
MMG	-0,641	-0,217	-0,239
PROD	-0,838	0,424	0,589
Correlação canônica (r)	0,858	0,813	0,736
p-valor	0,015 [*]	0,047 [*]	0,069 ^{ns}

Variáveis biológicas: RBS = Respiração Basal do Solo, em mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹; e Const. (k) = Constante de Decomposição (k), em g g⁻¹ dia⁻¹; Variáveis químicas: pH; CTC Efetiva, em cmol_cdm³; Saturação por Al, em %; MO = Matéria Orgânica, em %; P = Fosforo, em mg dm⁻³; K = Potássio, em mg dm⁻³; e Ca/Mg; Componentes de Produção de Grãos de Milho: NF = Número de Fileiras; NGF = Número de Grãos por Fileira; MMG = Massa de Mil Grãos, em g; e PROD = Produtividade de Grãos, em kg ha⁻¹. * Significativo pelo teste χ^2 a 5% de probabilidade de erro. n = 18.

A taxa de decomposição é influenciada pelas características do resíduo vegetal, pelas propriedades do clima e solo, e pelo tempo que o resíduo permanece no solo. Cai et al. (2021) observaram que 85% da variação da decomposição entre os ambientes estudados foi explicada pela média anual de temperatura, precipitação pluviométrica, teor de areia e pH do solo, teor de nitrogênio e lignina do material vegetal. Zhao et al. (2021) verificaram que a decomposição de resíduo de milho foi regulada principalmente pela temperatura e composição química do material vegetal. Esse, por sua vez, tem sua composição afetada por propriedades climáticas e do solo, o que está de acordo com o trabalho de Cai et al. (2021), em que o pH do solo influenciou negativamente as propriedades do resíduo e o teor de areia se correlacionou positivamente com o teor de lignina e negativamente com a taxa de decomposição, devido a lignina ser mais resistente a degradação pelos organismos. Liu et al. (2006) afirmam que material vegetal tem sua decomposição limitada pela umidade do solo quando é de alta qualidade e pela disponibilidade de nutrientes no solo quando é de baixa qualidade.

No presente trabalho, a respiração basal do solo se correlacionou diretamente e positivamente com o teor de matéria orgânica e de fósforo do solo, e também, de forma indireta com a taxa de decomposição de resíduo vegetal, justificando a correlação direta da constante de decomposição (k) com o teor de matéria orgânica e fosforo do solo. Vain et al. (2021) afirmam que a atividade dos microrganismos do solo, mensurada pela emissão de CO₂, é limitada pela disponibilidade de nutrientes. O teor de matéria orgânica e fósforo se relacionam diretamente com microrganismos e conseqüentemente com a respiração do solo (PAZ-FERREIRO; FU, 2013; SPOHN; SCHLEUSS, 2019).

No entanto, para algumas propriedades do solo como o pH, há divergências da sua influência na atividade dos organismos e conseqüentemente na respiração do solo. Mitra et al. (2019) não encontraram correlação significativa entre essas duas variáveis. Já Jones et al. (2019) afirmam que o pH acima de 5,5 promove maior eficiência energética microbiana, devido à ausência de Al³⁺ no presente estudo. A microbiota do solo responde diretamente ao pH do solo e também a presença do alumínio disponível, que é tóxico. Em pH inferiores a 5,5 há presença de alumínio disponível na solução do solo, no entanto, no presente trabalho não foi encontrada quantidades significativas, como observado pela baixa magnitude da Saturação por alumínio dentro do grupo 2 (-0,068).

No presente trabalho, a respiração basal do solo e a constante de decomposição (k) se correlacionaram inversamente com o pH do solo, de modo que a atividade dos microrganismos e a decomposição de resíduos foram menores à medida que o pH do solo foi elevado. Entretanto, outros fatores influenciam a atividade, como por exemplo no trabalho de Huang et al. (2021)

em que foi observado que a respiração do solo se correlaciona positivamente com a temperatura. Mitra et al. (2019) corrobora com esse resultado e inclui a precipitação pluviométrica como fatores determinantes para a atividade no solo.

Os resultados também evidenciaram a correlação linear significativa entre as variáveis biológicas e químicas do solo em ambiente irrigado, o que não foi observado em ambiente não irrigado. Possivelmente esses resultados sejam em decorrência da distribuição uniforme da precipitação no ambiente irrigado e períodos com déficit hídrico nos ambientes de sequeiro (Figura 1). Evidenciando a água como fator limitante na interação entre comunidades e atributos químicos do solo.

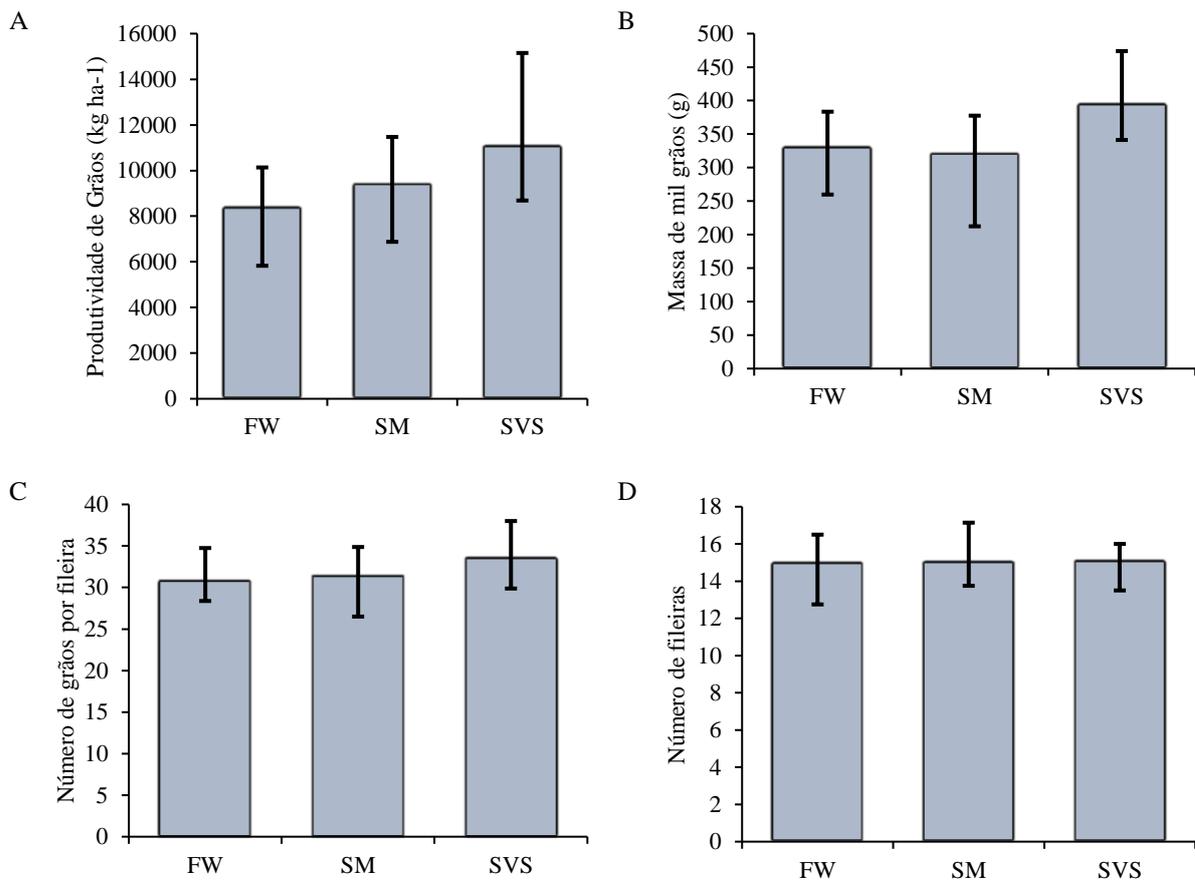
Não houve correlação canônica significativa entre os grupos 1 e 3 (variáveis químicas do solo e caracteres de plantas de milho, respectivamente) em nenhum dos três locais de estudo, observando-se assim a independência das variáveis dos dois grupos (Tabela 1B). Isto pode ser justificado pelo fato de ambos os locais serem áreas de plantio direto consolidado, com a mesma cultura antecessora e com manejos nutricionais semelhantes para a mesma expectativa de produção de grãos.

A análise de correlações canônicas entre os grupos 2 e 3 apresentou efeito significativo em dois locais, FW e SM, no entanto com diferença nas magnitudes das variáveis de cada grupo (Tabela 1C). Em FW apresentou correlação linear significativa ($r=0,858$, $p<0,05$), por meio do primeiro par canônico. A constante de decomposição (k) (grupo 2) esteve diretamente relacionada ao número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade de grãos (grupo 3). No entanto, a respiração basal do solo e o número de fileiras, grupo 2 e 3 respectivamente, tiveram uma baixa magnitude, expressando a independência das variáveis, perante os grupos. Em SM também apresentou correlação significativa ($r=0,813$, $p<0,05$), entre os grupos 2 e 3, para o primeiro par canônico. No entanto, diferentemente de FW, a respiração basal do solo teve magnitude alta e junto com a constante de decomposição (k) (grupo 2) se relacionaram inversamente ao número de grãos por fileira (grupo 3). O número de fileiras (grupo 3), corroborando com o resultado obtido em FW, mostra-se independente às demais variáveis. No entanto, diferentemente de FW, a massa de mil grãos e a produtividade de grãos (grupos 3) também se mostram independentes, apresentando baixa magnitude em suas correlações.

Os valores máximos, médios e mínimos dos caracteres de plantas NGF, MMG e PROD nos três locais podem ser observados na figura 2. FW apresentou uma maior variação na MMG e uma menor PROD quando comparado aos outros dois locais. O ambiente irrigado, SVS, apresentou médias maiores para os três caracteres quando comparado aos dois ambientes de

sequeiro. Isso se deve ao fato de ter ocorrido uma melhor distribuição de água no sistema devido a irrigação, não ocorrendo períodos de déficit hídrico durante o ciclo da cultura (Figura 1).

Figura 2 - Valores máximos, médios e mínimos para o número de grãos por fileira (A), massa de mil grãos (B) e produtividade de grãos (C) em Frederico Westphalen (FW), Santa Maria (SM) e São Vicente do Sul (SVS), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Autor (2022).

Os sistemas de cultivo conservacionistas são fundamentais para que a produção de grãos seja aumentada e de forma sustentável a médio e longo prazo. O sistema plantio direto possui boas práticas agrícolas que propiciam uma melhoria na qualidade do solo gradativamente interligando características biológicas, físicas e químicas. Nesse sentido, melhorias nas propriedades químicas do solo resultam em uma maior atividade biológica do solo, assim degradando mais rapidamente os resíduos vegetais das culturas e por consequência

mineralizando de nutrientes que ficaram disponíveis para as plantas absorvem durante seu desenvolvimento.

No presente trabalho é observado a forte correlação linear entre o teor de matéria orgânica e a atividade microbiana, inferindo que um maior teor de matéria orgânica resultara em uma maior atividade dos organismos do solo e conseqüentemente uma maior decomposição de resíduos vegetais. As taxas de decomposição mais elevadas estão correlacionadas a um maior número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade de grãos de milho, estando diretamente relacionado as boas práticas conservacionistas do sistema de plantio direto.

Os resultados sugerem que boas práticas agrícolas, como a adição de fitomassa ao solo, são fundamentais para o pleno desenvolvimento das culturas. A correção química do solo por meio da calagem propiciando a ausência de alumínio tóxico às plantas e aos organismos, a rotação de culturas, a utilização de plantas de cobertura, a diversificação das culturas e o mínimo revolvimento do solo são importantes estratégias para que o teor de matéria orgânica do solo seja elevado e conseqüentemente aumente a atividade da biota do solo, que é responsável pela ciclagem de nutrientes, que serão disponibilizados aos cultivos agrícolas. Utilizar um maior número de parâmetros biológicos do solo é importante para avaliação da qualidade do mesmo, devido a sensibilidade dos mesmos a fatores ambientais.

Os resultados do presente estudo sugerem que seja considerado um conjunto amplo de atributos como indicadores da qualidade do solo, devido a resposta dos mesmos serem sensíveis a condições ambientais.

2.1.4. Conclusões

Portanto, com base na correlação canônica, no cultivo do milho em ambiente subtropical no Brasil. Para o local com irrigação, há dependência linear entre os indicadores biológicos e químicos do solo. Os teores de matéria orgânica e fósforo do solo influenciam diretamente na atividade dos microrganismos do solo que atuam na decomposição dos resíduos vegetais;

No cultivo do milho sem irrigação suplementar, há dependência linear entre a taxa de decomposição de resíduos vegetais e o número de grãos por fileira, massa de mil grãos e a produtividade de grãos de milho;

Os caracteres de plantas de milho não se correlacionam com indicadores químicos do solo quando os níveis de nutrientes do solo estão adequados e há ausência ou reduzida toxidez por elementos químicos.

2.1.5. Referências

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995, p.215-216. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780125138406/methods-in-applied-soil-microbiology-and-biochemistry>. Acesso em: 29 abril 2022.

ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 29 abril 2022.

BOCOCK, K. L.; E GILBERT, O. J. W. The disappearance of leaf litter under diferente woodland conditions. **Plant and Soil**, v.9, p.179-185, 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01398924>. Acesso em: 29 abril 2022.

BÜNEMANN, E. K. *et al.* Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v.120, p.105-125, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>. Acesso em: 29 abril 2022.

CAI, A. *et al.* Patterns and driving factors of litter decomposition across Chinese terrestrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v.278, p.123964, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123964>. Acesso em: 29 abril 2022.

CARDOSO, E. J. B. N. *et al.* Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agricola**, v.70, p.274-289, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>. Acesso em: 29 abril 2022.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 29 abril 2022.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora da UFV, 2006, p.585.

CRUZ, C. D. *et al.* **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora da UFV, 2012.

HUANG, F. *et al.* The effect of temperature on the decomposition of different parts of maize residues in a solonchak. **Catena**, v.201, p.105207, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105207>. Acesso em: 29 abril 2022.

JONES, D. L. *et al.* pH and exchangeable aluminum are major regulators of microbial energy flow and carbon use efficiency in soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.138, p.07584, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107584>. Acesso em: 29 abril 2022.

LIU, P. *et al.* Differential responses of litter decomposition to increased soil nutrients and water between two contrasting grassland plant species of Inner Mongolia, China. **Applied Soil Ecology**, v.34, p.266-275, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.009>. Acesso em: 29 abril 2022.

LOPES, L. *et al.* Shifts in microbial and physicochemical parameters associated with increasing soil quality in a tropical Ultisol under high seasonal variation. **Soil and Tillage Research**, v.206, p.104819, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104819>. Acesso em: 29 abril 2022.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

MITRA, E. *et al.* Estimating the soil respiration under different land uses using artificial neural network and linear regression models. **Catena**, v.174, p.371-382, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.035>. Acesso em: 29 abril 2022.

MOITINHO, M. R. *et al.* On the spatial and temporal dependence of CO emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production₂. **Soil and Tillage Research**, v.148,

p.127-132, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.012>. Acesso em: 29 abril 2022.

MONTGOMERY, D. C.; Peck, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1982, p.504.

PANICO, S. C. *et al.* Variations of agricultural soil quality during the growth stages of sorghum and sunflower. **Applied Soil Ecology**, v.152, p.103569, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103569>. Acesso em: 29 abril 2022.

PAZ-FERREIRO, J.; E FU, S. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. **Land Degradation & Development**, v.27, p.14-25, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.2262>. Acesso em: 29 abril 2022.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

Reunião Técnica Anual De Pesquisa De Milho. (2017). **Indicações Técnicas para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul, safras 2017/2018 e 2018/2019**. Sertão.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

SPOHN, M.; E SCHLEUSS, P. M. Addition of inorganic phosphorus to soil leads to desorption of organic compounds and thus to increased soil respiration. **Soil Biology and Biochemistry**, v.130, p.220-226, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.018>. Acesso em: 29 abril 2022.

THOMAS, R. J.; E ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.1351-1361, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L). Acesso em: 29 abril 2022.

VAIN, A. C. *et al.* The fate of primed soil carbon between biomass immobilization and respiration is controlled by nutrient availability. **European Journal of Soil Biology**, v.105,

p.103332, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103332>. Acesso em: 29 abril 2022.

VIDAL, A. *et al.* Visualizing the transfer of organic matter from decaying plant residues to soil mineral surfaces controlled by microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v.160, p.108347, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108347>. Acesso em: 29 abril 2022.

ZHAO, S. *et al.* Characteristics of maize residue decomposition and succession in the bacterial community during decomposition in Northeast China. **Journal of Integrative Agriculture**, v.20, p.3289-3298, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63570-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63570-5). Acesso em: 29 abril 2022.

3. CAPÍTULO II

3.1. DIVERSIDADE DA ENTOMOFAUNA EDÁFICA PELOS ÍNDICES SHANNON, MARGALEF E PIELOU ASSOCIADA A CULTURA DO MILHO

RESUMO - Os organismos do solo apresentam interação com fatores ambientais e podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo. O objetivo deste estudo foi caracterizar a entomofauna edáfica, por métodos de diversidade de indivíduos, relacionado os mesmos a taxa de decomposição de resíduos vegetais, produtividade de grãos de milho, associado a locais e épocas de semeadura em ambiente subtropical. Os experimentos foram conduzidos em Frederico Westphalen - RS, Santa Maria - RS e São Vicente do Sul - RS, em duas épocas de semeadura no ano agrícola 2020/2021, totalizando seis experimentos. Durante o cultivo foram avaliados atributos biológicos (taxa de decomposição e fauna edáfica), análise química do solo e a produtividade de grãos. Os resultados apresentaram diferenças significativas entre ambientes para taxa de decomposição dos resíduos vegetais, abundância de indivíduos pelos índices de Shannon, Margalef, Pielou e frequência relativa. Foi observada uma maior diferença na frequência relativa de indivíduos entre os locais do que entre as épocas de semeadura. Nas áreas de estudo 4 grupos taxonômicos correspondem a mais de 80% dos indivíduos coletados, sendo os grupos Araneae e Coleoptera correspondentes a mais de 50% da frequência relativa de indivíduos encontrados. A relação linear entre a entomofauna edáfica e a taxa de decomposição de resíduo com a produtividade de grãos de milho é diferente em função da época de semeadura. Na segunda época, a taxa de decomposição de resíduo, índice de diversidade de Margalef e os grupos taxonômicos Acarina, Araneae, Oligochaeta e Chilopoda tiveram correlação positiva com produtividade de grãos, evidenciando que estes atributos podem ser utilizados para determinar a qualidade do solo.

Palavras-chave: Fauna do Solo. Decomposição de Resíduos. Método de *Litter Bag*. *Zea mays* L..

DIVERSITY OF EDAPHIC ENTOMOFAUNA BY THE SHANNON, MARGALEF AND PIELOU INDICES ASSOCIATED WITH CORN CULTURE

ABSTRACT - Soil organisms interact with environmental factors and can be used as indicators of soil quality. The objective of this study was to characterize the edaphic entomofauna, using methods of diversity of individuals, relating them to the rate of decomposition of plant residues, corn grain yield, associated with places and times of sowing in a subtropical environment. The experiments were carried out in Frederico Westphalen - RS, Santa Maria - RS and São Vicente do Sul - RS, in two sowing dates in the 2020/2021 crop year, totaling six experiments. During cultivation, biological attributes (decomposition rate and edaphic fauna), soil chemical analysis and grain yield were evaluated. The results showed significant differences between environments for the rate of decomposition of plant residues, abundance of individuals by the Shannon, Margalef, Pielou indices and relative frequency. A greater difference in the relative

frequency of individuals was observed between the sites than between the sowing times. In the study areas, 4 taxonomic groups correspond to more than 80% of the individuals collected, with the Araneae and Coleoptera groups corresponding to more than 50% of the relative frequency of individuals found. The linear relationship between edaphic entomofauna and residue decomposition rate with corn grain yield is different depending on the sowing time. In the second season, the residue decomposition rate, Margalef diversity index and the taxonomic groups Acarina, Araneae, Oligochaeta and Chilopoda had a positive correlation with grain yield, showing that these attributes can be used to determine soil quality.

Key words: Soil Fauna. Waste Decomposition. *Litter Bag* Method. *Zea mays* L..

3.1.1. Introdução

O solo é um sistema complexo e dinâmico, resultado da combinação de matéria orgânica e minerais inconsolidados (BÜNEMANN et al., 2018), formado de micro habitats com distintos gradientes físico-químicos, condições ambientais descontínuas, habitado por conjuntos de organismos com grande diversidade funcional, que atuam em diversos processos, capazes de alterar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BAIZÁN et al., 2021). Os invertebrados que tem o solo como habitat em pelo menos uma das fases de suas vidas são denominados de fauna edáfica, a qual é classificada pelo tamanho dos indivíduos em três grupos: microfauna, indivíduos menores que 0,2 mm, como os protozoários e nematoides; mesofauna, indivíduos entre 0,2 e 2,0 mm, como os colêmbolos e ácaros; e macrofauna, indivíduos maiores que 2,0 mm, como as coleópteros e minhocas (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979).

Os organismos edáficos possuem limites de tolerância ambiental e preferências por diferentes microhabitats (PERRY et al., 1989). Nesse sentido, intervenções antrópicas ou naturais podem resultar em mudanças no habitat que interfira na diversidade da fauna edáfica. Vários fatores podem ter interferência sobre a fauna edáfica, como os climáticos (precipitação, temperatura e umidade do ar), os relacionados ao solo (tipo, temperatura, umidade, pH, minerais, matéria orgânica, textura e estrutura), material vegetal (espécie vegetal, estágio de desenvolvimento, cobertura e relação Carbono/Nitrogênio), topográficos (altitude e inclinação) e o histórico de determinada área (ação antrópica e natural) (MACHADO et al., 2015). Desta forma os organismos da fauna edáfica podem ser indicadores da qualidade deste ambiente por responder rapidamente distúrbios resultantes do uso e do manejo das áreas agrícolas.

Os mesmos fatores ambientais que interferem na fauna edáfica, também influenciam o desempenho agrônomo das plantas. Porém, a relação entre bioindicadores da qualidade do solo e o desempenho agrônomo das culturas ainda é pouco explorada e carece de mais informações. Compreender a sinergia dessa relação é pertinente para que sejam aprimoradas práticas de manejo sustentáveis, que possibilitem maior produtividade das culturas, com menor uso de insumos químicos. Deste modo, o objetivo deste estudo foi caracterizar a entomofauna edáfica por métodos de diversidade de indivíduos, relacionando os mesmos a taxa de decomposição de resíduos vegetais, produtividade de grãos de milho, associado a locais e épocas de cultivo em ambiente subtropical.

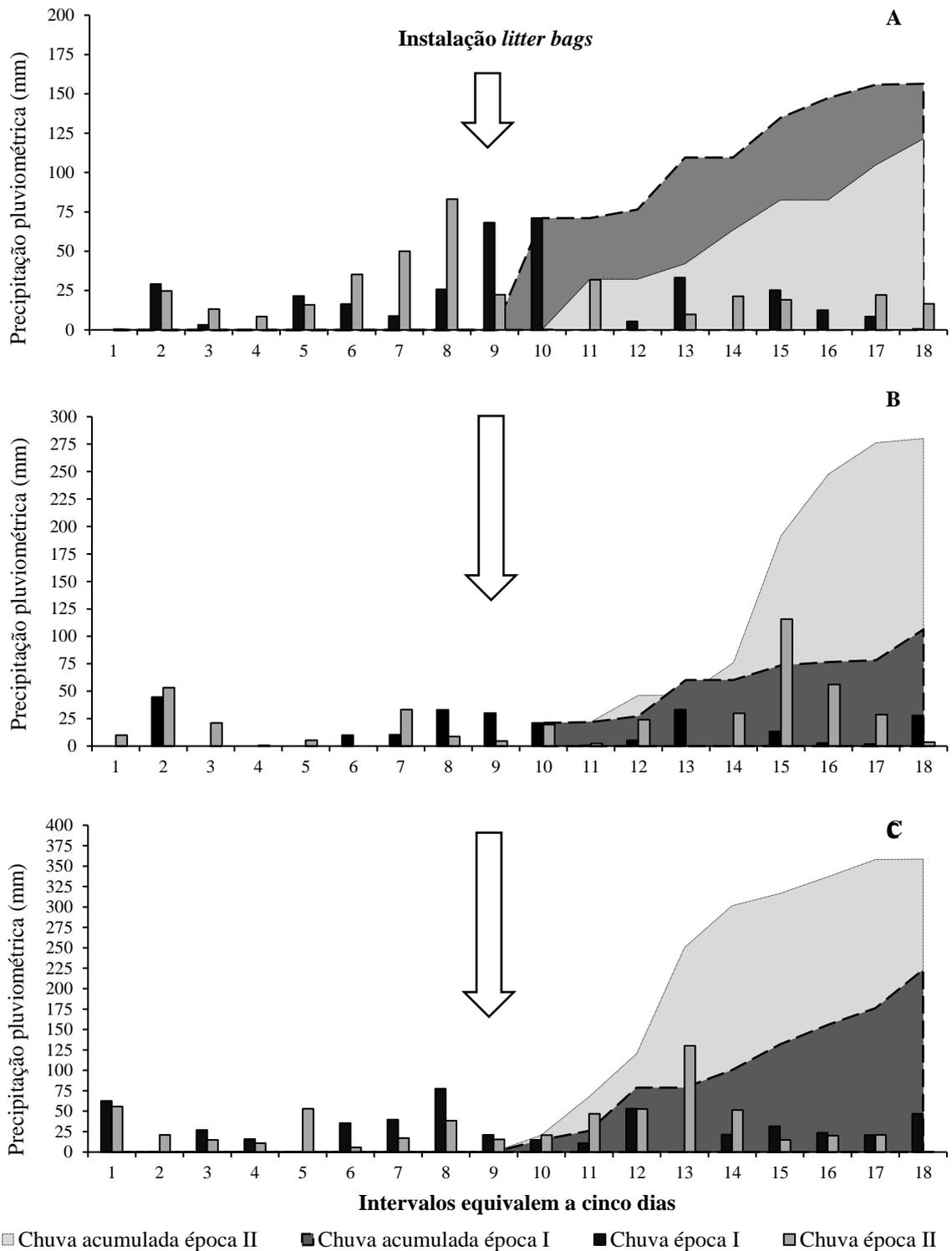
3.1.2. Material e Métodos

3.1.2.1. Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado em três locais: Frederico Westphalen (FW, 27° 21' 31,40" S e 53° 23' 57,80" W), Santa Maria (SM, 29° 41' 23,10" S e 53° 47' 33,13" W) e São Vicente do Sul (SVS, 29° 41' 34,63" S e 54° 40' 43,04" W), no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. O clima dos três locais, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido com verões quentes (*Cfa*) (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos para caracterização de cada local foram obtidos de estações meteorológicas automáticas, localizadas em até 600 metros de distância dos experimentos (Figuras 1 e 2).

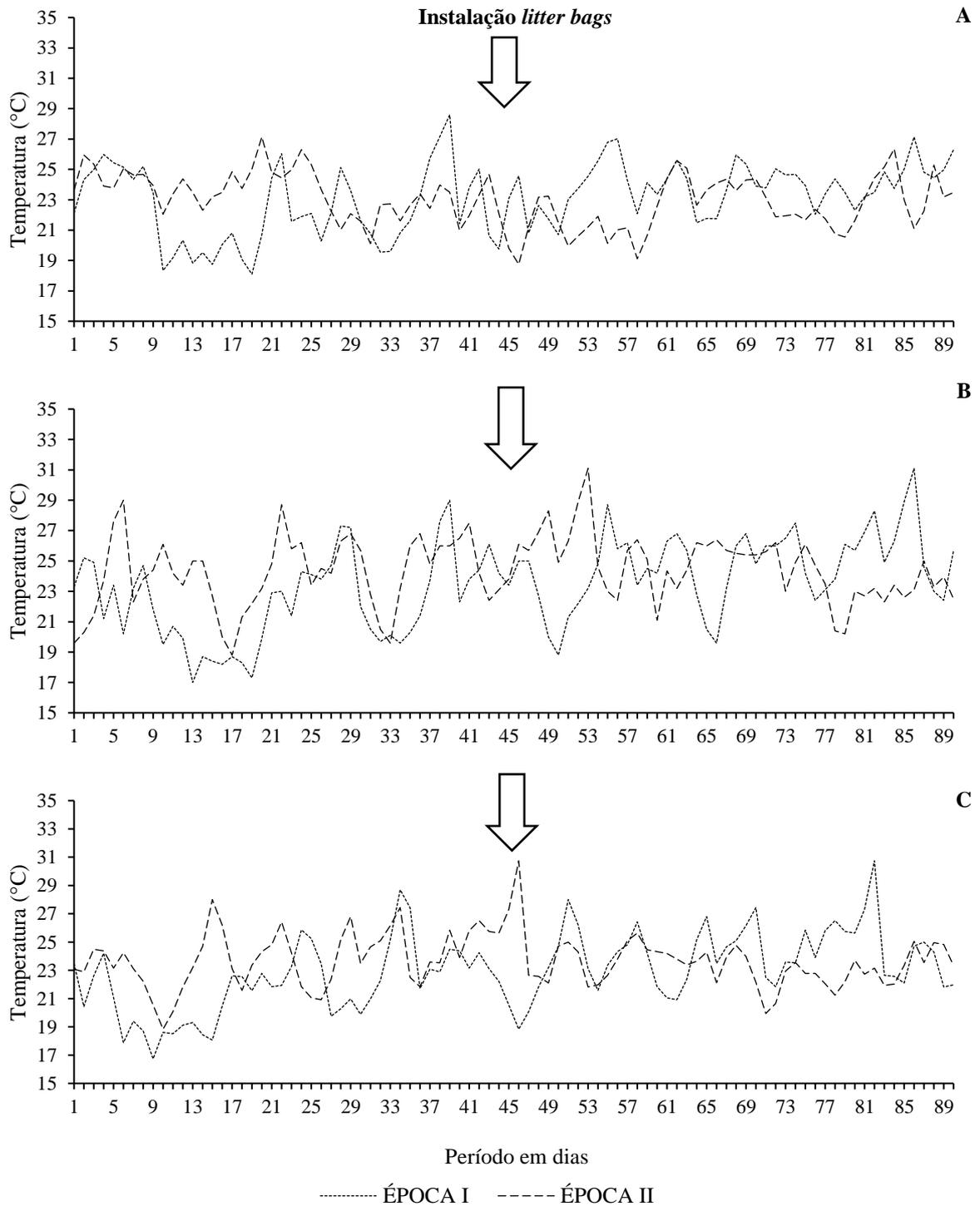
Os solos são classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico em FW e Argissolo Vermelho Distrófico arênico em SM e SVS (SANTOS, 2018). A caracterização química do solo foi realizada em todas as 54 unidades experimentais, após amostragem com trado na profundidade de 0 – 10 centímetros. Os atributos avaliados foram: Argila (g kg^{-1} , densímetro), pH (em água 1:1), MO (g kg^{-1} , Walkley Black), P (mg dm^{-3} , Mehlich⁻¹), K (mg dm^{-3} , Mehlich⁻¹), Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, KCl), Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, KCl), Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, KCl), H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, titulação), CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Saturação Al (%), Saturação Bases (%) e Ca/Mg (Tabela 1).

Figura 1 - Precipitação pluviométrica antes e depois da instalação dos *litter bags* (colunas) e volume acumulado de água disponibilizada após a instalação dos *litter bags* (área) para as duas épocas em Frederico Westphalen (A), Santa Maria (B) e São Vicente do Sul (C), no estado do Rio Grande do Sul, pelo período de 90 dias, sendo 45 dias antes e 45 dias depois da instalação dos *litter bags* no campo



Fonte: Autor (2022).

Figura 2 - Temperatura média no período de 90 dias, sendo 45 dias antes e 45 dias após a instalação dos *litter bags* no campo para as duas épocas em Frederico Westphalen (A), Santa Maria (B) e São Vicente do Sul (C), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Autor (2022).

Tabela 1 – Descrição das propriedades químicas do solo avaliadas em três locais e duas épocas nos municípios de Frederico Westphalen (FWI e FWII), Santa Maria (SMI e SMII) e São Vicente do Sul (SVSI e SVSII), Rio Grande do Sul, Brasil

Propriedades Químicas do Solo						
Atributos	FWI	SMI	SVSI	FWII	SMII	SVSII
Argila (g kg ⁻¹ , densimeter)	661	286	131	615	235	125
pH (em água 1:1)	5.3	5.2	5.3	5.1	5.4	5.1
MO (g kg ⁻¹ , Walkley Black)	37	23	16	34	29	23
P (mg dm ⁻³ , Mehlich-1)	10.4	11.0	52.3	6.7	11.4	88.3
K (mg dm ⁻³ , Mehlich-1)	352	100.4	104	256	136.4	100.4
Ca (cmol _c dm ³ , KCl)	6.2	5.2	4.7	6.2	5.9	4.7
Mg (cmol _c dm ³ , KCl)	3.0	2.9	1.6	3.2	3.3	1.5
Al (cmol _c dm ³ , KCl)	0.1	0.3	0.3	0.1	0.0	0.2
H+Al (cmol _c dm ³ , titration)	5.4	7.9	5.5	6.6	5.4	5.8
CTC efet. (cmol _c dm ³)	10.3	8.8	6.9	10.2	9.6	6.7
Saturação Al (%)	1.3	4.2	5.0	0.9	0.7	3.9
Saturação Bases (%)	64.9	52.6	54.4	60.6	63.9	53.4
Ca/Mg	2.0	1.8	2.9	1.9	1.7	3.0

Para cada ambiente foram realizadas nove amostragens de solo.

Fonte: Autor (2022).

No ano agrícola de 2020/2021, o experimento foi semeado em duas épocas, na segunda quinzena do mês de setembro para a época I e na segunda quinzena do mês de outubro para a época II, conforme zoneamento agrícola de cada um dos três locais (FW, SM e SVS), em áreas com aptidão para o cultivo de milho, totalizando seis experimentos (três locais x duas épocas de semeadura). Em FW e SM experimentos sem irrigação (condição de sequeiro) e em SVS experimentos com irrigação por pivô central.

O cultivo de inverno que antecedeu o milho foi do consórcio de plantas de cobertura de aveia preta (*Avena strigosa* L.) + nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Após a dessecação das plantas de cobertura a semeadura do experimento foi realizada com ajuste na densidade para 70 mil plantas ha⁻¹ foi realizada de forma manual, para aumentar a precisão experimental após a adubação com uma semeadora. Os experimentos foram instalados em blocos ao acaso, com três híbridos de milho com representatividade e cultivados por produtores das regiões (AG 9025 PRO3, MG 300 PW e DKB 230 PRO3) em três repetições. As unidades experimentais foram

compostas por seis fileiras, com espaçamento de 0,50 metros entre fileiras e cinco metros de comprimento, totalizando uma área de 15 m².

A adubação foi realizada para a expectativa de 12 t ha⁻¹ de grãos, conforme o Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2016). O superfosfato triplo e cloreto de potássio foram depositados no sulco de semeadura com o auxílio de uma semeadora/adubadora com sulcadores e a adubação nitrogenada foi aplicada na forma de ureia em cobertura em dois momentos, quando as plantas atingiram os estádios V4 e V6. Os demais tratamentos culturais como aplicação de fungicida, herbicida e inseticida seguiram as indicações técnicas para a cultura do milho no estado do RS (RTAPM, 2017).

3.1.2.2. *Decomposição de resíduos vegetais*

A determinação da taxa de decomposição de resíduo vegetal pelos organismos do solo foi realizada pelo método *Litter Bag*, adaptado de Bock e Gilbert (1957), com adaptação. Para isso, foram confeccionados sacos de nylon medindo 20 x 15 centímetros e com uma malha de 5 x 5 milímetros, de modo a permitir a entrada de organismos decompositores da fauna do solo. Os sacos foram preenchidos com folhas verdes do terço médio das plantas de milho, que correspondiam a 20g de massa seca (em estufa de ar forçado, 60°C, 72 h). Quatro sacos foram distribuídos em cada unidade experimental de forma equidistante, em contato direto com o solo, entre os estádios fenológicos de VT e R1. Após 45 dias foram retirados e secos para determinação da massa seca remanescente e tempo de meia vida. Determinou-se o valor da constante de decomposição (k), estimada por Thomas e Asakawa (1993) pela equação:

$$X_t = X_0 \cdot e^{-kt}$$

Sendo: X_t a massa seca do material remanescente em t dias; X_0 a massa seca no tempo (t) zero ($t = 0$).

3.1.2.3. *Amostragem de fauna do solo*

A fauna do solo foi coletada nos *litter bags*, antes do material vegetal ser levado a estufa para secagem. Em laboratório foi realizada a triagem manual e os organismos armazenados em álcool 70%. Os indivíduos de corpo maior que 1 mm foram contabilizados e identificados individualmente em seus respectivos grupos taxonômicos em nível de ordem.

3.1.2.4. Produtividade de grãos

A produtividade de grãos (PROD, em kg ha⁻¹) foi estimada em uma área de 8 m² em cada parcela, composta pelas quatro fileiras centrais por quatro metros de comprimento. A colheita foi realizada quando os grãos atingiram 20% de umidade, a qual foi corrigida para 13% e determinada a produtividade de grãos.

3.1.2.5. Análise dos dados

Para as variáveis massa remanescente (MR), tempo de meia vida (T) e constante de decomposição (k), foi realizada a média dos valores dos quatro *litter bags* de cada parcela. Para a fauna do solo foi determinada a abundância (indivíduo *litter bag*⁻¹), a frequência relativa (FR, em %) dos indivíduos de cada ordem e os índices de diversidade: Shannon (H), Margalef (DMg) e Pielou (J). Deste modo, foi gerado apenas um valor por unidade experimental para cada variável analisada, assim como para produtividade de grãos. Posteriormente foi realizado o estudo de correlações lineares, utilizando a metodologia de correlação de Pearson a 5% de probabilidade do erro.

Os dados da fauna do solo foram analisados com o software Past® (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), o qual também foi utilizado para a realização da análise de agrupamento (análise de cluster) pelo método da distância média (UPGMA), entre os seis ambientes. As demais variáveis avaliadas foram analisadas por meio da análise não-paramétrica de Wilcoxon a 5% de probabilidade do erro, por meio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2020) e do aplicativo Microsoft Office Excel®.

3.1.3. Resultados e Discussão

As condições meteorológicas foram diferentes entre os locais e também entre as épocas (Figura 1 e 2). O volume de chuva acumulado após a instalação dos *litter bags* no campo foram menores nas épocas: II em FW e I em SM e SVS. A diferença de volume entre as épocas foi de 50, 175 e 130 mm para FW, SM e SVS respectivamente.

A distribuição das precipitações ocorreu mais uniforme em SVS, devido ao manejo de irrigação, alcançando os maiores volumes nas duas épocas e ausência de déficit hídrico antes e durante a exposição dos *litter bags*, gerando assim ambientes mais propícios para o

desenvolvimento de organismos da fauna edáfica atuantes na decomposição de resíduo vegetal. Para FW as precipitações ocorreram em maior volume antes da instalação dos *litter bags*, sendo que na época I, logo após a instalação ocorreu volumes consideráveis de precipitação, favorecendo assim a ação de organismos na deterioração do resíduo vegetal. Já em SM os volumes de precipitação foram baixos, especialmente antes da instalação dos *litter bags* apresentando períodos com ausência de precipitação. O alto volume acumulado na época II, em SM é decorrente de apenas uma precipitação ocorrida 30 dias após a instalação dos *litter bags*, favorecendo a atividade de organismos poucos dias antes da retirada dos *litter bags* do campo, assim não resultando em uma taxa de decomposição elevada. A temperatura média dos ambientes de maneira geral teve valores crescentes na época I e decrescentes na época II, considerando 45 dias antes e 45 dias após a instalação dos *litter bags* no campo, tendência decorrente do encurtamento dos dias mais acentuado na época II.

Os resultados da análise química do solo nos seis experimentos (Tabela 1), apresentam diferenças no teor de argila. Estes teores que ultrapassam os 600 g kg^{-1} em FW, enquanto SM varia entre 200 e 300 g kg^{-1} ; já SVS os valores são inferiores a 150 g kg^{-1} . Outra propriedade com diferença acentuada é o teor de matéria orgânica (MO), onde FW está na classe média com valores acima de 30 g kg^{-1} ; já SM e SVS com valores baixos, iguais ou inferiores a 25 g kg^{-1} . Os teores de fósforo (P) em FW e SM são classificados como baixos e em SVS como teores com alta disponibilidade, enquanto os teores de potássio (K) são classificados como altos em SM e SVS e muito altos em FW, conforme o Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2016). Os valores de pH do solo possuem valores semelhantes entre os ambientes, com médias entre 5 e 5,5, no entanto, apesar de valores baixos, os teores de alumínio também foram baixos.

Um total de 2.880 indivíduos da fauna edáfica foram coletados e identificados individualmente dos *litter bags* instalados nos seis experimentos (Tabela 2). Houve diferenças na abundância e na frequência relativa de indivíduos dentro dos grupos taxonômicos nos diferentes experimentos, sendo o grupo predominante em FW I as larvas (38,63%), em FW II a Dermaptera (35,55%), em SM I e II a Coleóptera (63,95 e 30,23% respectivamente), em SVS I e II a Araneae (27,10 e 39,18% respectivamente), o que pode estar associado a diferenças de precipitação e disponibilidade de fonte de alimentos. FW II e SVS I foram os dois locais com abundância significativamente maior que os demais ambientes (Tabela 2). No entanto, ocorreu menor frequência de Acarina, Araneae, e Oligochaeta em SVS; e Araneae e Larvas em FW. SM I e SM II não apresentaram diferenças significativas para a abundância, no entanto, a predominância de indivíduos diferiu para as ordens Coleoptera mais frequente em SM I e Acarina e Hymenoptera mais frequente em SM II.

Tabela 2 - Frequência relativa da fauna edáfica, abundância total, índices de diversidade do solo e avaliação da taxa de decomposição de resíduo em três locais e duas épocas de coleta nos municípios de São Vicente do Sul (SVSI e SVSII), Santa Maria (SMI e SMII) e Frederico Westphalen (FWI e FWII), Rio Grande do Sul, Brasil

Frequência Relativa (%)						
Grupos	SVSI	SMI	FWI	SVSII	SMII	FWII
Acarina	2,93 b ⁽¹⁾	0 c	0 c	11,20 ab	14,95 a	0 c
Araneae	27,10 ab	22,21 b	30,20 ab	39,18 a	19,34 b	14,46 c
Coleoptera	24,89 bc	63,95 a	5,89 e	11,34 de	30,23 b	17,91 cd
Dermaptera	17,54 b	0 d	19,92 b	5,88 c	0,21 d	35,55 a
Diptera	1,26 ab	0,76 ab	1,75 ab	1,17 ab	2,06 a	0 b
Hymenoptera	9,84 ab	4,25 b	2,01 b	4,86 b	22,91 a	9,13 b
Larva	3,10 cd	6,35 c	38,63 a	1,56 d	1,68 d	21,04 b
Oligochaeta	10,01 a	0 b	0,28 b	18,66 a	0,65 b	0,51 b
Chilopoda	2,86 ab	0 c	0 c	6,14 a	2,96 ab	1,05 b
Outros ⁽²⁾	0,47 b	2,47 ab	1,31 b	0 b	5,01 a	0,35 b
Índices de diversidade						
Abundância ⁽³⁾ (38,65) ⁽⁴⁾	75 ab	44 c	34 cd	27 d	47 bc	93 a
Shannon (13,87)	1,60 ab	1,02 c	1,39 b	1,51 b	1,70 a	1,54 b
Margalef (20,61)	1,51 ab	0,94 d	1,32 bc	1,46 abc	1,68 a	1,19 c
Pielou (10,31)	0,80 ab	0,70 b	0,82 a	0,87 a	0,86 a	0,83 a
Variáveis⁽⁵⁾	Decomposição de Resíduo Vegetal					
Massa remanescente	59,10 c	66,95 ab	58,81 c	26,22 d	63,80 bc	68,59 a
Constante K	0,0120 b	0,0089 cd	0,0119 b	0,0301 a	0,0100 bc	0,084 d
Tempo de meia vida	61,98 c	78,15 ab	59,67 c	23,42 d	70,36 bc	82,86 a

⁽¹⁾ As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Wilcoxon ($P \leq 0,05$). ⁽²⁾ Os grupos de Blattodea (baratas), Diplopoda (millepedes), Lepidoptera (mariposas), Odonata (libélulas), Orthoptera (grilos e gafanhotos) e Pulmonata (lesmas e caracóis) foram agrupados em "Outros", devido ao pequeno número de indivíduos coletados. ⁽³⁾ abundância, em indivíduos *litter bag*⁻¹; ⁽⁴⁾ Coeficiente de variação expresso em percentual (CV%). ⁽⁵⁾ Variáveis: Massa remanescente, em (%); constante de decomposição (k), em $g^{-1} \text{ dia}^{-1}$; e tempo de meia vida, em dias.

Fonte: Autor (2022).

Dentre os grupos observados, podemos observar a diferença na predominância nos seis ambientes. Araneae, Dermaptera e larvas correspondem a mais de 88% dos indivíduos

coletados em FW I, crescendo a ordem Coleóptera em FW II a predominância das quatro ordens também supera os 88%. No ambiente SM I, apenas Araneae e Coleóptera corresponde a 86% dos indivíduos, comparando a SM II essas duas ordens correspondem a 49%, indicando uma alteração dos indivíduos em função da época de semeadura, no entanto, a uma maior presença de Acarina e Hymenoptera, com predominância de 87% de indivíduos dessas quatro ordens.

Nos índices de diversidade, SM I foi o único ambiente que diferiu estatisticamente para todos os índices, apresentando menor diversidade que os demais ambientes, com exceção do índice de Margalef em que FW II também ficou abaixo dos demais. O baixo valor de diversidade de SM I está atrelado a predominância de apenas dois grupos taxonômicos Araneae e Coleoptera. SVS I apresentou predominância dos grupos Araneae, Coleóptera, Dermaptera e Oligochaeta correspondendo a 79% da frequência de indivíduos, já SVS II Acarina, Araneae, Coleóptera e Oligochaeta foram os grupos predominantes em 80% (Tabela 2). As alterações no ambiente, como formação de microclimas e aporte de recursos vegetais, com isso, o acúmulo e tipo de material vegetal na superfície do solo pode ter contribuído para a maior abundância de organismos (PESSOTTO et al., 2020).

Os grupos taxonômicos observados em menor quantidade foram Blattodea, Diplopoda, Lepidoptera, Odonata, Orthoptera e Pulmonata, os mesmos foram agrupados em “Outros” (Tabela 2). Os grupos desempenham importantes funções ecossistêmicas pois atua nos processos de decomposição e incorporação dos resíduos orgânicos no solo, mineralização de nutrientes e formação de bioporos (BARTZ; PASINI; BROWN, 2013), promovendo melhorias nas propriedades do solo.

Os diferentes momentos de decomposição de resíduo vegetal interferem na população de organismos e a dinâmica dos indivíduos da fauna do solo (RESENDE et al., 2013). FW II e SVS I apresentaram valores menores de decomposição que FW I e SVS II respectivamente, logo, havia maior quantidade de vegetal nos *litter bags* para servir de alimento a fauna do solo no momento de coleta. O material vegetal dos *litter bags* quando menos decomposto apresentou maior frequência de indivíduos da ordem Coleóptera e Dermaptera, tanto em SVS quanto FW. Isso evidencia que o material vegetal dos *litter bags* é atrativo para os dois grupos taxonômicos, como fonte de alimento para grande variedade de coleópteros e abrigo para Dermapteras e suas possíveis fontes de alimentos como larvas e ovos de outros insetos.

Com relação as taxas de decomposição de resíduos de milho nos seis ambientes (Tabela 2), a massa remanescente teve diferença significativa entre os ambientes, sendo SVS II o ambiente que apresentou os menores valores (26,22%), logo a maior constante de

decomposição (k) ($0,0301 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). FW II apresentou o menor valor de taxa de decomposição com $0,0084 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e um tempo de meia vida do resíduo vegetal superior a 80 dias. Já SM I, SM II, FW I e SVS I apresentaram valores intermediários com valores de k , $0,0089$; $0,0100$; $0,0119$ e $0,0120 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

As diferenças na velocidade de decomposição do resíduo vegetal estão relacionadas a inúmeros fatores como a média de temperatura do ar, precipitação pluviométrica, teor de areia e pH do solo, teor de nitrogênio e lignina do material vegetal (CAI et al., 2021). SVS II foi o ambiente com maior valor de k ($0,0301 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e podemos observar que as características do ambiente vão ao encontro do trabalho de Cai et al. (2021). O ambiente foi irrigado por pivô central, o que fez com que a distribuição das precipitações ocorresse de maneira mais uniforme, consequentemente a umidade do local foi mantida por mais tempo, associado a irrigação, ocorreu um alto volume de precipitação durante os 45 dias de exposição dos *litter bags* no campo, aproximadamente 358 mm, 60% a mais no volume do que em SVS I (Figura 1), contribuindo para uma maior decomposição de resíduo de milho.

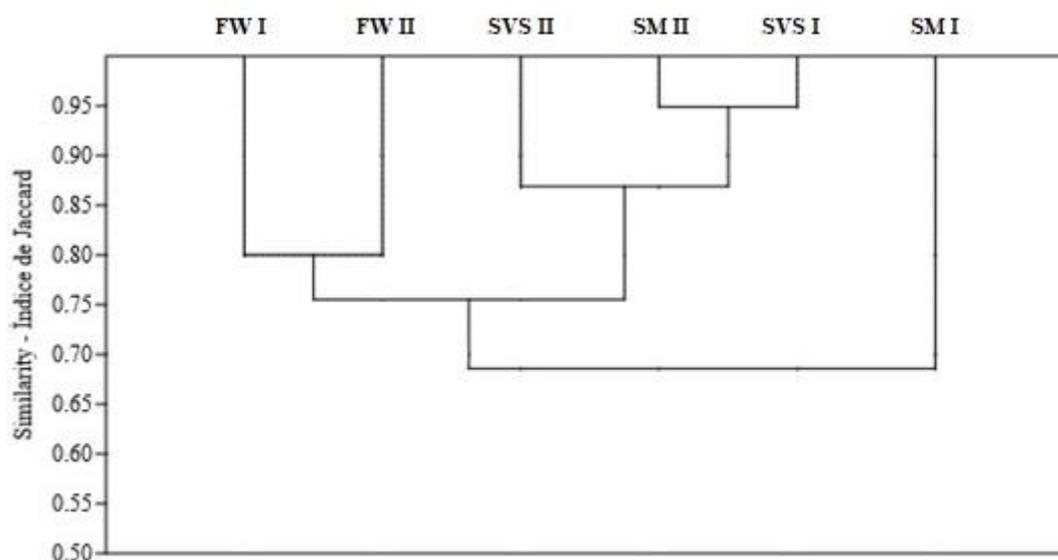
Trabalho de Peña-Peña e Irmiler (2016) teve como resultado uma decomposição da serrapilheira de 2 a 5 vezes mais rápida no período de estação chuvosa quando comparado a estação seca. Ao encontro disto, Santana et al. (2021) afirmam que o manejo de irrigação promove uma maior abundância de indivíduos da fauna edáfica, sendo que a macrofauna e mesofauna aceleram o processo de decomposição da serrapilheira (PEÑA-PEÑA; IRMLER, 2016). Também deve ser levado em conta a qualidade do material vegetal, conforme Liu et al. (2006) material vegetal tem sua decomposição limitada pela umidade do solo quando é de alta qualidade e pela disponibilidade de nutrientes no solo quando é de baixa qualidade. Considerando que os resíduos de milho possuem a mesma genética e padrão de qualidade, observamos que o ambiente com menor decomposição FW II, seguido de SM I e SM II, foram os ambientes de sequeiros com períodos de déficit hídrico, com distribuição heterogênea das precipitações e consequentemente gerando um microclima com menor umidade.

As variáveis meteorológicas que interferem na decomposição de resíduo, consequentemente também influenciam na dinâmica da fauna edáfica (ZHENG et al., 2020). As variações das propriedades dos solos e dos fatores ambientais geram diferenças na composição e atividade da fauna edáfica (ZHENG et al., 2020). Santana et al. (2021) encontraram influência das propriedades físicas e químicas do solo na composição da fauna edáfica, com destaque para macronutrientes, pH e CTC efetiva, além de fatores climáticos como temperatura e radiação solar. Já em trabalho de Ji et al. (2022) foi observada a correlação positiva entre o teor de fósforo disponível no solo e a decomposição de resíduo vegetal, em

contrapartida, alguns organismos da microbiota do solo são capazes de solubilizar frações de fósforo do solo indisponíveis para a absorção das culturas (BASÍLIO et al., 2022), destacando assim a sinergia entre organismos do solo e as plantas.

O dendrograma de similaridade entre os seis ambientes com base no Índice de Jaccard é apresentado na figura 3. Podemos observar que SM I que foi o ambiente que destoou dos demais referente a diversidade é o ambiente menos similar aos demais, inferior a 70% de similaridade. O primeiro grupo formado com similaridade acima dos 90% foi entre SM II e SVS I (grupo 1), seguido da inclusão de SVS II formando um novo grupo, com similaridade superior a 85% (grupo 2). FW I e FW II formaram um outro grupo com similaridade de 80% (grupo 3), pôr fim a junção do grupo 2 e 3 apresentou uma similaridade de 75%.

Figura 3 - Dendrograma UPGMA com base no Índice de Jaccard em função do total de indivíduos coletados em três locais e duas épocas de coleta nos municípios de São Vicente do Sul (SVS I e SVS II), Santa Maria (SM I e SM II) e Frederico Westphalen (FW I e FW II), Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Autor (2022).

SM II e SVS I apresentam como predominantes a ordem Coleóptera e Hymenoptera, duas ordens com grande número de espécies pertencentes que tem nas culturas agrícolas a sua principal fonte de alimento. Os resultados vão ao encontro de Rosa e Dalmolin (2009) que em

experimento conduzido em Santa Maria - RS encontraram dentre os grupos predominantes indivíduos Hymenoptera e Coleóptera em lavoura agrícola com a cultura do milho. Trabalho realizado na mesma região de SM e SVS por Góes et al. (2021) indicou entre os grupos taxonômicos com mais abundância os grupos Hymenoptera e Acarina independente da época de coleta.

A presença de ácaros foi maior em SVS II e SM II quando comparado a SVS I e SM I respectivamente, a frequência maior na segunda época pode se dar ao fato de o período de coleta coincidir com hospedeiros em estágio vegetativo mais avançado em especial as lavouras com a cultura da soja na região. Ácaros podem afetar indiretamente a ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo, por meio de fragmentação de detritos vegetais, consumo de organismos e consequentemente interferência na atividade microbiana (BARETTA et al., 2011).

Já a frequência de Coleópteros foi maior na primeira época em SVS e SM, esse resultado pode estar atrelado a escassez de alimento na primeira época, pois, as demais culturas estavam em estágio inicial, tendo a área de milho a principal fonte de alimento para os indivíduos da ordem. No entanto em FW o resultado foi o inverso, a segunda época teve maior frequência de indivíduos da ordem quando comparado a primeira época, muito possivelmente ao fato de uma menor quantidade de áreas próximas com outras culturas agrícolas.

A produtividade de grãos (Figura 4), foi maior em SVS I e menor em FW II. Para SVS II, SM I, SM II e FW I as produtividades foram intermediárias. Podemos observar que as produtividades de grãos oscilaram em mais de 2.000 kg ha^{-1} dentro dos ambientes, alcançando valores próximos a $16.000 \text{ kg ha}^{-1}$ e inferiores a $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$ em SVS I. Muito da oscilação entre máximos e mínimos valores de produtividade de grãos apresentado pela barra de erros na figura 5 dentro de cada um dos ambientes é em função da diferença de potencial produtivo dos híbridos, esses escolhidos conforme a representatividade junto aos produtores e para que proporcionassem variabilidade de material genético no ambiente.

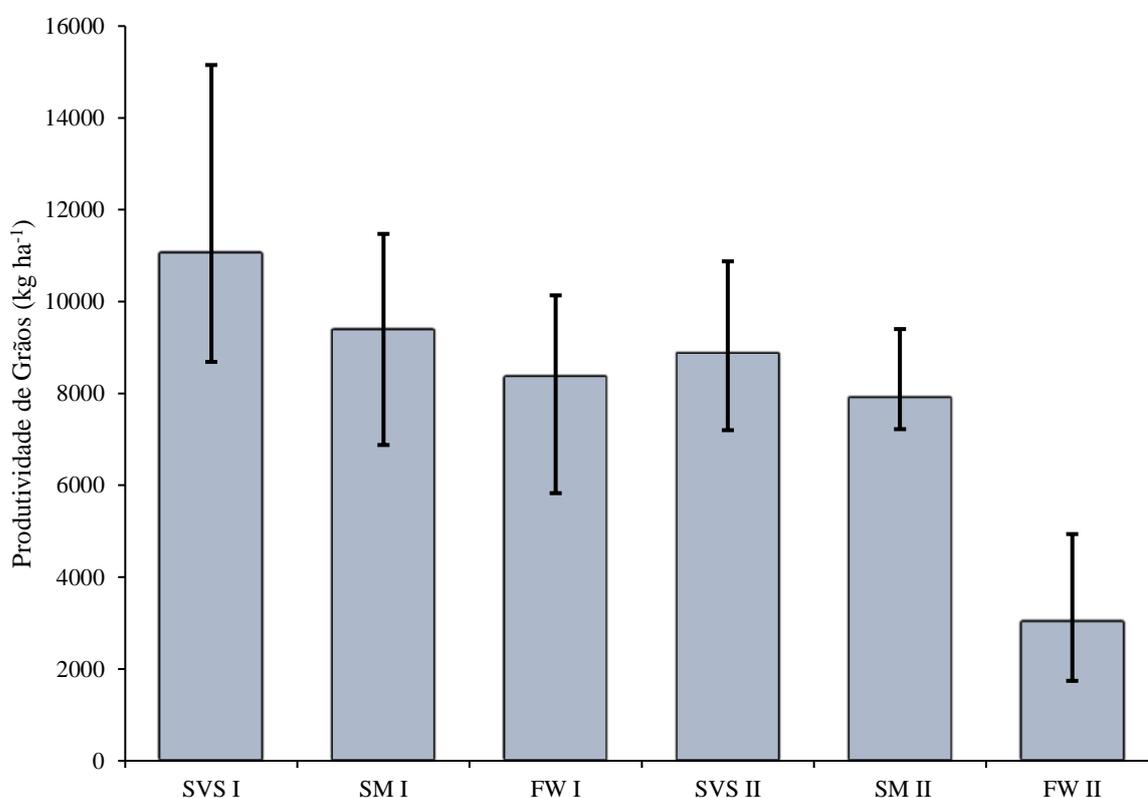
Podemos destacar que SVS I teve uma boa distribuição das precipitações devido ao sistema de irrigação por pivô central, associado a isso, um melhor aproveitamento da radiação solar, devido ao alongamento da duração dos dias durante o desenvolvimento das plantas quando comparado a SVS II, deste modo, o período de enchimento de grãos coincidiu com período de máxima radiação. Também destacamos os altos volumes de chuva em SVS II ocasionando dias com baixa radiação e consequentemente prejudicando o potencial de produtividade de grãos. Para SM I e SM II mostram uma leve tendência de maior produção na primeira época muito em função da questão da radiação solar já mencionada e também por SM

II juntamente com FW II apresentaram períodos de déficit hídrico mais acentuados, associado a altas temperaturas do ar, prejudicando a produtividade de grãos em relação a SM I e FW I.

Apesar da variabilidade proporcionada pelos diferentes híbridos, os ciclos dos mesmos eram semelhantes, e o déficit hídrico em momento pontual de florescimento e enchimento de grãos prejudicou o potencial produtivo em FW II, com isso a produtividade de grãos no ambiente variou entre 2.000 e 5.000 kg ha⁻¹.

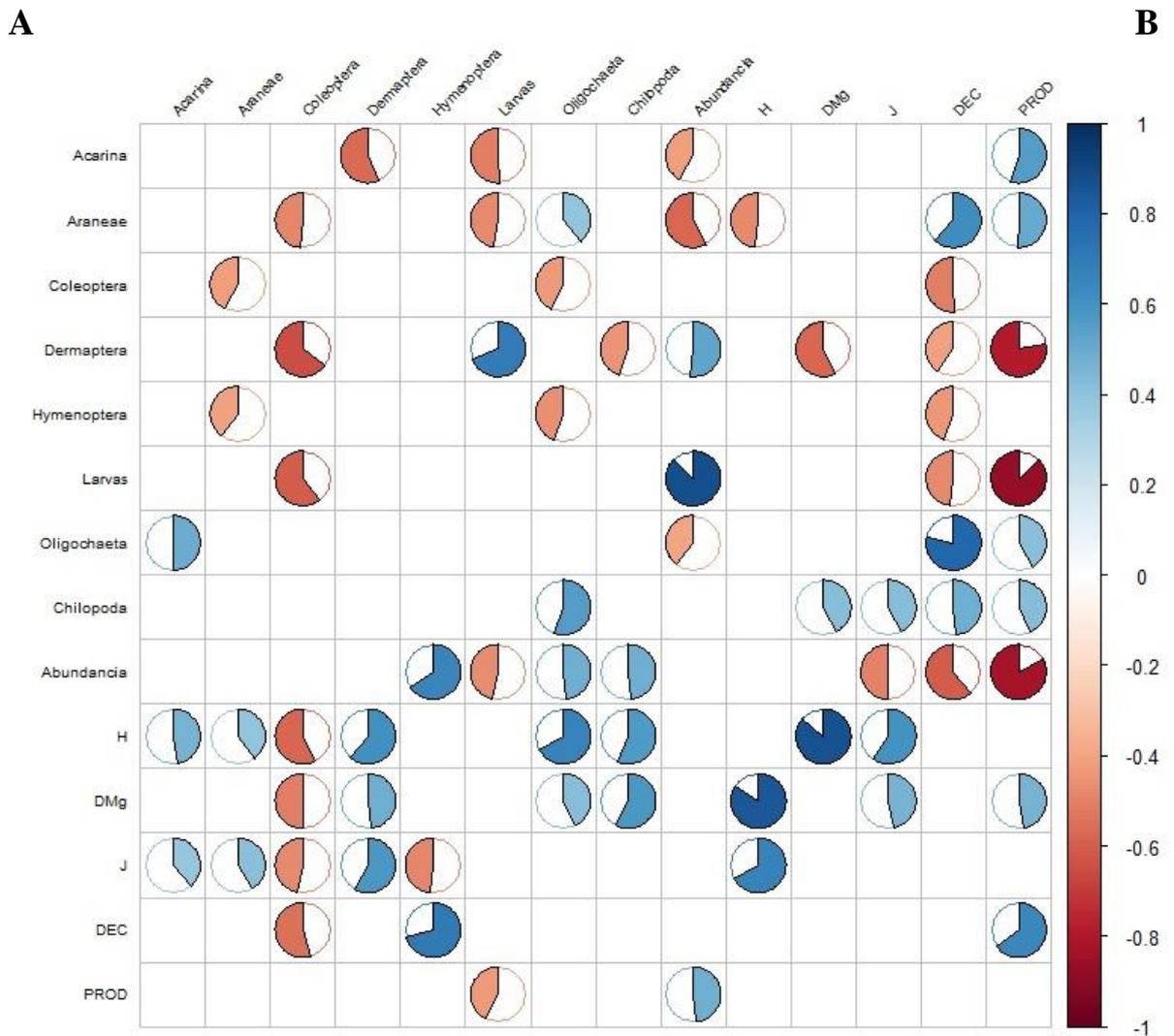
O estudo de correlações lineares evidencia o grau de dependência linear entre duas variáveis, tanto de maneira positiva quanto negativa. Ao correlacionarmos todas as variáveis estudadas (grupos taxonômicos, taxa de decomposição e produtividade de grãos) observamos a existência de dependência linear entre algumas variáveis e respostas diferentes das mesmas em função da época de semeadura (Figura 5).

Figura 4 - As colunas representam os valores médios dos ambientes e a barra de erros a diferença entre o valor máximo e mínimo para a produtividade de grãos de milho em três locais e duas épocas nos municípios de São Vicente do Sul (SVS I e SVS II), Santa Maria (SM I e SM II) e Frederico Westphalen (FW I e FW II), Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Autor (2022).

Figura 5 - Correlação de Pearson entre grupos taxonômicos, índices de diversidade, taxa de decomposição e produtividade de grãos em três locais. Sendo duas épocas de avaliação A) Época I, diagonal inferior e B) Época II, diagonal superior. Variáveis - H: índice de Shannon; DMg: índice de Margalef; J: índice de Pielou; DEC: taxa de decomposição; PROD: produtividade de grãos. Correlações mostradas foram significativas de acordo com test t ($p < 0,05$)



Fonte: Autor (2022).

Para ambas as épocas, a taxa de decomposição teve correlação negativa com a frequência relativa de coleópteros. A menor taxa de decomposição do resíduo vegetal faz com que a presença de coleópteros no interior dos *litter bags* seja maior, devido a quantidade de alimento prontamente disponível para os indivíduos. Em contrapartida, à medida que a decomposição foi maior, a disponibilidade de resíduo diminuiu e consequentemente a

atratividade alimentar para os indivíduos da ordem foi menor. A ordem também se correlacionou negativamente com os índices de diversidade H, DMg e J na época I, resultado decorrente da grande predominância de indivíduos da ordem em SM I. Na mesma época, os índices de diversidade H e J, se correlacionaram positivamente com as ordens Acarina, Araneae e Dermaptera.

Na época II, a taxa de decomposição teve correlação negativa com os grupos Dermaptera, Hymenoptera e larvas, além da Coleoptera. Entretanto, teve correlação positiva com Araneae, Oligochaeta e Chilopoda. O resultado evidencia a preferência dos grupos taxonômicos por resíduo vegetal em diferentes momentos de decomposição. Grupos correlacionados negativamente com a taxa de decomposição possuem preferência por resíduo pouco degradado, utilizando-o como alimento, abrigo e ambiente para predação. Já grupos correlacionados positivamente preferem resíduo com grau de deterioração mais avançado como o caso das minhocas importantes agentes na ciclagem de nutrientes e estruturação da comunidade microbiana (MA et al., 2022) e as aranhas que permanecem mais tempo em um mesmo local devido ao seu hábito predatório, podendo ser considerado um bom indicador de qualidade do solo (BARRETA et al., 2011).

A produtividade de grãos de milho apresentou correlações distintas entre as duas épocas. Na época I, uma maior produtividade de grãos se correlacionou com uma maior abundância de indivíduos da fauna edáfica e com uma menor frequência de organismos em estágio larval. A correlação negativa com larvas também foi observada na época II acrescentando a ordem Dermaptera. Na época II a produtividade de grãos teve correlação linear positiva com Acarina, Araneae, Oligochaeta, Chilopoda, índice DMg e taxa de decomposição.

Os resultados, evidenciam que na época II os fatores que influenciaram na produtividade de grãos também atuaram na estruturação e dinâmica da entomofauna edáfica. Áreas com maiores produtividades tiveram condições propícias para uma taxa de decomposição mais rápida, conseqüentemente uma maior atividade dos organismos e ciclagem de nutrientes. Grupos taxonômicos primários que se alimentam de resíduo vegetal ou utilizam-no como abrigo correlacionam-se negativamente com a taxa de decomposição. Em contrapartida, grupos secundários como as aranhas que são predadores, utilizam o ambiente por mais tempo, correlacionando-se positivamente com a taxa de decomposição e sua presença pode estar relacionada a alimento disponível.

Por fim, podemos inferir que a ordenação dos grupos taxonômicos é definida pelas condições ambientais, período de exposição e grau de deterioração do resíduo vegetal. No primeiro momento, após a instalação dos *litter bags* no campo é esperado que organismos que

se alimentem do material vegetal sejam atraídos, posteriormente grupos predadores e agentes decompositores, conseqüentemente com o aumento da degradação do resíduo vegetal alguns grupos taxonômicos migram para outros ambientes em busca de novas fontes de alimento.

3.1.4. Conclusões

Portanto, com base na diversidade da entomofauna em ambientes de clima subtropical, existe maior diferença na frequência relativa de indivíduos entre os locais do que entre as épocas de semeadura em ambiente subtropical. Nas áreas de estudo entre a classificação em 4 grupos taxonômicos correspondem a mais de 80% dos indivíduos coletados, sendo os grupos Araneae e Coleoptera correspondentes a valores superiores a 50% da frequência relativa de indivíduos encontrados.

A relação linear entre a entomofauna edáfica e a taxa de decomposição de resíduo com a produtividade de grãos de milho é dependente da época de semeadura da cultura do milho. Áreas com maiores produtividades tiveram condições propícias para uma taxa de decomposição mais rápida, conseqüentemente uma maior atividade dos organismos e ciclagem de nutrientes

Na segunda época a taxa de decomposição de resíduo, índice de diversidade de Margalef e os grupos taxonômicos Acarina, Araneae, Oligochaeta e Chilopoda tiveram correlação positiva com produtividade de grãos.

Frederico Westphalen e São Vicente do Sul apresentaram diferença significativa entre as duas épocas para taxa de decomposição de resíduo vegetal e abundância de indivíduos da fauna do solo.

3.1.5. Referências

ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 10 julho 2022.

BAIZÁN, S. *et al.* Management Influence on the Quality of an Agricultural Soil Destined for Forage Production and Evaluated by Physico-Chemical and Biological Indicators. **Sustainability**, v.13, p.5159, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13095159>. Acesso em: 10 julho 2022.

BARRETA, D. *et al.* Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.7, p.119-170, 2011. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v.69, p.39–48, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.011> Acesso em: 10 julho 2022.

BASÍLIO, F. *et al.* Multiple modes of action are needed to unlock soil phosphorus fractions unavailable for plants: The example of bacteria- and fungi-based biofertilizers. **Applied Soil Ecology**, v.178, p.104550, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104550>. Acesso em: 10 julho 2022.

BOCOCK, K. L.; GILBERT, O. J. W. The disappearance of leaf litter under diferente woodland conditions. **Plant and Soil**, v.9, p.179-185, 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01398924>. Acesso em: 10 julho 2022.

BÜNEMANN, E. K. *et al.* Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v.120, p.105–125, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030> Acesso em: 10 julho 2022.

CAI, A. *et al.* Patterns and driving factors of litter decomposition across Chinese terrestrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v.278, p.123964, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123964>. Acesso em: 10 julho 2022.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. (2016). **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

GÓES, Q. R. *et al.* Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, v.31, p.123-144, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509832130>. Acesso em: 10 julho 2022.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 9pp. Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acesso em: 10 julho 2022.

Ji, D. *et al.* Crop residue decomposition and nutrient release are independently affected by nitrogen fertilization, plastic film mulching, and residue type. **European Journal of Agronomy**, v.138, p.126535, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126535>. Acesso em: 10 julho 2022.

LIU, P. *et al.* Differential responses of litter decomposition to increased soil nutrients and water between two contrasting grassland plant species of Inner Mongolia, China. **Applied Soil Ecology**, v.34, p.266-275, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.009>. Acesso em: 10 julho 2022.

MA, L. *et al.* Effects of earthworm activities on soil nutrients and microbial diversity under different tillage measures. **Soil and Tillage Research**, v.222, p.105441, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105441>. Acesso em: 10 setembro 2022.

MACHADO, D. L. *et al.* Fauna edáfica na dinâmica sucessional da Mata Atlântica em floresta estacional semidecidual na Bacia do Rio Paraíba do Sul – RJ. **Ciência Florestal**, v.25, p.91-106, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-509820152505091>. Acesso em: 10 julho 2022.

PEÑA-PEÑA, K.; IRMLER, U. Moisture seasonality, soil fauna, litter quality and land use as drivers of decomposition in Cerrado soils in SE-Mato Grosso, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v.107, p.124-133, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.007>. Acesso em: 10 julho 2022.

PERRY, D. A. *et al.* Bootstrapping in ecosystems. **Bioscience**, v.39, p.230-237, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1311159>. Acesso em: 10 julho 2022.

PESSOTTO, M. D. F. *et al.* Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, v.8, p.397-402, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.9769>. Acesso em: 10 julho 2022.

R Core Team. (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

RESENDE, A. S. *et al.* Artropodes do solo durante o processo de decomposição da matéria orgânica. **Agronomia Colombiana**, v.31, p.89-94, 2013. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652013000100011&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 julho 2022.

Reunião Técnica Anual De Pesquisa De Milho. (2017). **Indicações Técnicas para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul, safras 2017/2018 e 2018/2019**. Sertão.

ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D. Fauna edáfica em solo construído, campo nativo e lavoura anual. **Ciência Rural**, v.39, p.913-917, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000300044>. Acesso em: 10 julho 2022.

SANTANA, M. S. *et al.* Trophic groups of soil fauna in semiarid: Impacts of land use change, climatic seasonality and environmental variables. **Pedobiologia**, v.89, p.150774, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150774>. Acesso em: 10 julho 2022.

SANTOS, H. G. *et al.* (2018). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. v.5. **Blackwell Scientific Publications**, Oxford, UK.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.1351-1361, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L). Acesso em: 10 julho 2022.

ZHENG, X. *et al.* Soil macro-fauna respond to environmental variations along a coastal-inland gradient. **PeerJ**, v.8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.9532>. Acesso em: 10 julho 2022.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do milho tem no déficit hídrico e na baixa disponibilidade de radiação solar dois dos seus principais limitadores climáticos a altas produtividades de grãos. O primeiro fator limitante tem seus efeitos diminuídos pela prática de irrigação e o segundo pelo posicionamento da época de semeadura, posicionando-a para que o período de máxima radiação solar e a necessidade das plantas coincidam. A severidade dos efeitos das condições climáticas sobre as plantas pode ser balizada pelas condições do solo, que é o ambiente em que as plantas desenvolvem seus sistemas radiculares, objetivando fixar-se e retirar água e nutrientes, fundamentais para seu pleno desenvolvimento.

Solos manejados adequadamente, apresentam um equilíbrio na qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos, permitindo que os mesmos respondam de forma sinérgica junto as plantas. Manejar o ambiente de produção de modo que favoreça essa sinergia é uma oportunidade de aumentar a produtividade de grãos, sem aumentar custos de forma sustentável. No entanto, as relações oriundas dessa interação ainda são pouco exploradas, principalmente atributos biológicos, os quais são muito mais dinâmicos que os químicos e físicos por se tratarem de organismos vivos.

Embasado nos resultados do artigo I, foram observados que componentes de produção de grãos de milho possuem relação com atributos biológicos do solo e esses por sua vez relação com atributos químicos do solo. Podemos inferir que um solo bem manejado proporciona melhores condições para o pleno desenvolvimento das plantas, para que essas expressem o seu máximo potencial produtivo, um solo quimicamente equilibrado com aporte de material vegetal constante, fomenta uma maior atividade biológica no sistema solo/planta. O potencial produtivo biologicamente do solo pode ser expresso pela respiração de microrganismos que tem o solo como habitat, os quais eliminam CO₂ ao executarem atividades como a ciclagem de nutrientes. O teor de matéria orgânica e fósforo apresentaram correlação positiva com a respiração basal do solo e também com a taxa de decomposição de resíduo vegetal em ambiente irrigado onde o microclima gerado foi favorável a atividade de organismos.

A mesma correlação não foi observada em ambiente de sequeiro, possivelmente devido ao fato da ocorrência de períodos com déficit hídrico e baixa umidade ocasionarem uma diminuição da atividade dos organismos no solo. No entanto, nessas áreas a taxa de decomposição correlacionou-se diretamente com componentes de produção, como número de grãos por fileira, massa de mil grãos e também com a produtividade de grãos. Podendo ser

destacado que áreas em que os fatores climáticos e de solo fomentam a atividade biológica também são favoráveis a produção de grãos.

A fertilidade química do solo é construída ao longo do tempo, com isso as plantas têm uma resposta mais lenta a pequenas alterações nos atributos químicos do solo, pois as necessidades das plantas são suprimidas pela adubação mineral realizada no momento de semeadura das culturas. Nos experimentos conduzidos não houve correlação canônica significativa entre indicadores químicos e caracteres de plantas de milho. Todos os seis ambientes possuem semeadura direta, mínimo revolvimento do solo, mesmas espécies utilizadas como plantas de cobertura e nenhuma toxidez química como por exemplo alumínio. Deste modo, podemos inferir que a adubação realizada para a cultura foi capaz de suprir as demandas que as plantas tiveram para as produtividades alcançadas. No entanto, indiretamente atributos químicos correlacionaram-se com bioindicadores e esses por sua vez com componentes de produção de grãos.

Embasado nos resultados do artigo II, foram observados que em ambos os locais a primeira época de semeadura teve produtividade de grãos superior a segunda época, enaltecendo a importância da semeadura na época adequada para um melhor aproveitamento da radiação solar em regiões subtropicais. As duas épocas também apresentaram diferenças na taxa de decomposição de resíduo vegetal e abundância de indivíduos da fauna do solo em Frederico Westphalen e São Vicente do Sul, no entanto a frequência relativa das ordens dos indivíduos encontrados teve maior diferenças entre os três locais do que entre as duas épocas.

A velocidade de decomposição do resíduo vegetal é decorrente do somatório de fatores, como a temperatura, precipitação pluviométrica, umidade e atividade da fauna do solo; e indiretamente por atributos químicos e físicos do solo que influenciam na atividade biológica e esses por sua vez na degradação de material vegetal. O microclima gerado por todos esses fatores em conjunto irá determinar as espécies mais frequentes e a sua atividade sobre o material vegetal. Nos ambientes com microclima mais favorável, a degradação do material vegetal foi mais rápida e a abundância de indivíduos no momento de coleta foi menor, isso, pelo fato do baixo volume de material remanescente, que ainda serviria de alimento para os indivíduos da fauna edáfica. Nos experimentos conduzidos em Santa Maria não houve diferença na taxa de decomposição e conseqüentemente também na abundância de indivíduos da fauna do solo coletados.

Diante do exposto, podemos observar que o solo, plantas e os organismos, não podem serem avaliados isoladamente, pois os mesmos estão interligados e a alteração de um atributo específico pode influenciar na resposta de outro. Logo, devemos analisar o contexto da área

cultivada como um todo, coletando o máximo de informação e avaliando o maior número de atributos possíveis para um melhor diagnóstico e prescrição de manejo ao produtor, buscando dessa forma, aumentar a produtividade de grãos.

Assim, por meio do estudo de relações entre atributos biológicos e químicos indicadores da qualidade do solo, com componentes de produção de grãos de milho em três locais distintos em região subtropical. Concluímos que existem relações lineares entre atributos biológicos do solo e atributos químicos do solo; os atributos biológicos e químicos indicadores de qualidade do solo possuem valores diferentes em três locais de cultivo de milho em região subtropical; e a resposta dos atributos indicadores de qualidade do solo avaliados na influência direta sobre os componentes e a produtividade de grãos na cultura do milho, dependerá de qual atributo é avaliado, seu nível no solo e condições edafoclimáticas.