



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

Francisco Wilson Reichert Júnior

**Diversidade morfológica e efeito de duas altitudes sobre o potencial agronômico,
anatomia do grão e qualidade culinária de populações locais de milho pipoca do extremo
oeste de Santa Catarina**

Florianópolis
2021

Francisco Wilson Reichert Júnior

**Diversidade morfológica e efeito de duas altitudes sobre o potencial agrônômico,
anatomia do grão e qualidade culinária de populações locais de milho pipoca do extremo
oeste de Santa Catarina**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutor
em Ciências
Orientador: Prof(a). Dr(a). Juliana Bernardi Ogliari

Florianópolis

2021

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

Reichert Junior, Francisco Wilson

Diversidade morfológica e efeito de duas altitudes sobre
o potencial agronômico, anatomia do grão e qualidade
culinária de populações locais de milho pipoca do extremo
oeste de Santa Catarina / Francisco Wilson Reichert Junior
; orientadora, Juliana Bernardi Ogliari, 2022.
125 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. I. Ogliari, Juliana
Bernardi. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais.
III. Título.

Francisco Wilson Reichert Júnior

**Diversidade morfológica e efeito de duas altitudes sobre o potencial agronômico,
anatomia do grão e qualidade culinária de populações locais de milho pipoca do extremo
oeste de Santa Catarina**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof., Dr. Maurício Sedrez dos Reis
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Marcelo Maraschin
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Altair Toledo Machado
EMBRAPA Cerrados

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de doutor em Ciências.

Prof. Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares
Coordenador do Programa

Prof.(a), Dr.(a) Juliana Bernardi Ogliari
Orientador(a)

Florianópolis, 2021

Este trabalho é dedicado à minha família, que sempre acreditou nesse sonho, a minha noiva, que sempre me apoiou e aconselhou e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho

AGRADECIMENTOS

À professora Juliana Bernardi Ogliari, pela orientação e pelos ensinamentos repassados.

Aos professores Maurício Sedrez dos Reis e Rosete Pescador pelo incentivo e aconselhamentos.

Aos meus colegas do NEABio, Rosenilda, Otávio, Wagner, Tassiane e Rose Mari pela colaboração, companheirismo, aconselhamentos e sugestões.

À Fazenda Experimental da UFSC, em especial aos servidores Otávio Rechsteiner Maghelly, Nuno de Campos e Elson Rezende de Oliveira pela ajuda na condução dos experimentos.

À Cooperanchieta, em especial a Roselei e Rachel, por todo o apoio durante os experimentos em Anchieta.

À Paróquia de Anchieta, especialmente ao Padre Reneu, pela acolhida durante as viagens para a condução dos experimentos em Anchieta. Também ao Josemir Forgiarini e família pela acolhida durante os meses de estadia em Anchieta.

As famílias das agricultoras Rosa Uliana e Lourdes Koerich pela cessão da área para realização dos experimentos, além de todo o apoio durante a realização dos mesmos.

À Universidade Federal da Fronteira Sul nas pessoas do professor Altemir José Mossi, Bernardo Berenchtein e Alfredo Castamann pelo auxílio e disponibilidade em análises laboratoriais.

À equipe do laboratório de nutrição animal na pessoa do professor do curso de Zootecnia Diego Peres Netto pela disponibilidade e auxílio nas análises laboratoriais.

RESUMO

O milho pipoca (*Zea mays* L.) é um tipo especial de milho que se caracteriza pela sua capacidade de expandir o endosperma quando aquecido. Na região do Extremo Oeste de Santa Catarina (EOSC) existe uma importante diversidade de populações locais de milho pipoca sendo conservada *on farm*. Avaliar a morfologia, ciclo, comportamento agrônomo, composição química e capacidade de expansão dessas populações é fundamental para avaliar o seu potencial para essas características, assim como verificar o efeito do ambiente sobre elas. Desse modo, o presente estudo teve por objetivo avaliar morfologia, ciclo e influência do ambiente no potencial agrônomo e características químicas e de expansão de populações locais de milho pipoca do EOSC. Inicialmente, 41 populações de milho pipoca foram avaliadas quanto à morfologia de planta, espiga e grãos e fenologia. Para tanto, um experimento foi instalado em Florianópolis na safra 2017/2018 no delineamento de blocos completos casualizados com duas repetições. Foi observada uma importante diversidade para as características avaliadas. Foram observados grãos de coloração branca, preta, amarela, vermelha e alaranjada. O peso de mil grãos variou de 80,9 a 200,4 g, sendo que as variedades de grãos pretos apresentaram os menores valores e a população 2279X com o maior valor. Quanto à altura de planta, os valores variaram de 1,8 a 3,2 m, sendo que as populações com grãos de cor amarela foram, em média, as mais baixas e as brancas, as mais altas. Quanto ao ciclo, as populações de grãos brancos foram consideradas intermediárias/tardias e as populações com grãos amarelos, hiperprecoces/precoces. O acúmulo de graus dia para o pendoamento variou de 689,05 a 1.090,57. Foram observadas tendências em características de planta para populações com o mesmo formato e cor de grãos, o que pode indicar uma possível relação com grupos heteróticos em milho pipoca. Para avaliar o potencial produtivo e o efeito do ambiente local nas populações de milho pipoca, 11 populações locais foram selecionadas do experimento anterior e dois experimentos foram instalados no município de Anchieta – SC em diferentes altitudes (410 e 745 m). O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados com quatro repetições e uma testemunha comercial foi adicionada (RS 20). A análise conjunta dos dados foi realizada para a avaliação dos efeitos do ambiente e interação genótipo x ambiente (GxA). As populações apresentaram importante variação entre si e variação entre ambientes, sendo que quatro características apresentaram interação GxA, sendo elas o número de ramificações do pendão, grãos por fileira, peso de mil grãos e capacidade de expansão. A presença de interação significativa para algumas características indica o comportamento diferencial das populações com a mudança de ambiente. Os valores de produtividade variaram de 1,90 a 3,96 t ha⁻¹ no local mais alto e de 1,80 a 3,93 t ha⁻¹ no local mais baixo. A partir da colheita de espigas polinizadas desse experimento, foram avaliados os teores totais de proteína, lipídios e cinzas, assim como a capacidade de expansão e a espessura do pericarpo. Para comparação, uma testemunha comercial foi adquirida no comércio e adicionada nas análises. Diferentemente das características morfológicas, todos os componentes químicos apresentaram interação GxA. O que indica que as populações apresentam respostas diferenciais para essas características com a mudança de ambiente. As populações 977A e 2321A se destacaram para teores de proteína e lipídios, respectivamente. Para a capacidade de expansão, a testemunha comercial foi a que apresentou os maiores valores (37,45 mL g⁻¹), para as populações locais as populações 2393A e 977A se destacaram em ambos os locais para essa característica, com média superior a 30 mL g⁻¹. Os resultados obtidos indicam que o gradiente de altitude do ambiente de origem das populações apresenta influência sobre características morfológicas, rendimento, características químicas e de expansão. As populações do EOSC apresentaram diversidade entre si para todas as

características e podem ser exploradas em programas de melhoramento e como fonte de renda para os agricultores locais.

Palavras-chave: Milho pipoca. Populações locais. Interação Genótipo x Ambiente. Expansão.

ABSTRACT

Popcorn (*Zea mays* L.) is a special type of corn that is characterized by its ability to expand the endosperm when heated. In the Far West region of Santa Catarina (FWSC) there is a rich diversity of local populations of popcorn being conserved on farm. Evaluating the morphology, cycle, agronomic behavior, chemical composition and expansion capacity of these populations is essential to assess their potential for these characteristics, as well as verifying the effect of the environment. Thus, the present study aimed to evaluate the morphology, cycle and influence of the environment on the agronomic potential, chemical composition and expansion capacity of local populations of popcorn from FWSC. Initially, 41 popcorn populations were evaluated for plant, ear and grain morphology and phenology. Therefore, an experiment was installed in Florianópolis in the 2017/2018 season in a complete randomized block design with two replications. A rich diversity was observed for the evaluated characteristics. White, black, yellow, red and orange colored grains were observed. The weight of a thousand grains ranged from 80.9 to 200.4 g, with the black grain varieties showing the lowest values and the population 2279X showing the highest value. As for the plant height, the values ranged from 1.8 to 3.2 m, with the populations with yellow grains being, on average, the smallest and the white ones, the tallest. As for the cycle, populations of white grains were considered intermediate/late and populations with yellow grains, hyper-early/early. The accumulation of degrees day for tasseling ranged from 689.05 to 1,090.57. Trends in plant characteristics were observed for varieties with the same grain shape and color, which may indicate a possible relationship with heterotic groups in popcorn. To evaluate the productive potential and the effect of the local environment on popcorn varieties, 11 local populations were selected from the previous experiment and two experiments were installed in the municipality of Anchieta – SC at different altitudes (410 and 745 m). The design used was a complete randomized block with four replications and a commercial control was added (RS 20). The joint analysis was performed to assess the effects of the environment and genotype x environment interaction (GxE). Populations showed significant variation among themselves and variation between environments, and four characteristics showed GxE interaction, namely the number of tassel branches, grains per row, the weight of a thousand grains and expansion capacity. The presence of significant interaction for some traits indicates the differential behavior of populations with environmental change. Yield values ranged from 1.90 to 3.96 t ha⁻¹ at the highest location and from 1.80 to 3.93 t ha⁻¹ at the lowest location. From the harvest of pollinated ears in this experiment, the total levels of protein, lipids and ash, as well as the expansion capacity and thickness of the pericarp were evaluated. For comparison, a commercial control was purchased commercially and added to the analyses. Unlike the morphological characteristics, all chemical components showed GxE interaction. Which indicates that populations show differential responses to these characteristics with the change of environment. Populations 977A and 2321A stood out for protein and lipid contents, respectively. For expansion capacity, the commercial control was the one with the highest values (37.45 mL g⁻¹), for local populations, the populations 2393A and 977A stood out in both places for this characteristic, with an average above 30 mL g⁻¹. The results obtained indicate that the altitude gradient of the populations' environment of origin influences morphological characteristics, yield, chemical and expansion characteristics. The FWSC populations showed diversity among themselves for all characteristics and can be explored in breeding programs and as a source of income for local farmers.

Keywords: Popcorn. Local populations. Genotype x Environment Interaction. Expansion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma organizacional da estrutura da tese.....	20
Figura 2 - Agrupamento das populações de pipoca conservadas no EOSC, gerado a partir do índice de similaridade de Gower e do algoritmo UPGMA. Correlação cofenética = 0,84. I: Populações de grãos pretos; II: Populações de grãos brancos; III: Populações de grãos amarelos.....	38
Figura 3 - Representação dos dois primeiros componentes que explicam 39,9% da variação total, extraídos de 14 variáveis morfológicas e fenológicas quantitativas de 41 populações de milho pipoca conservadas no EOSC. ● Representam populações de grãos pretos; ■ amarelo; ◆ Branco; ▲ Vermelho; ▼ Laranja	43
Figura 4 – Análise conjunta para número de ramificações do pendão (NRP) para populações de milho pipoca do EOSC.	77
Figura 5 – Análise conjunta para Peso de mil grãos (PMG) para populações de milho pipoca do EOSC.....	78
Figura 6 – Análise conjunta para número de grãos por fileira (GF) para populações de milho pipoca do EOSC.	79
Figura 7 – Análise conjunta para capacidade de expansão (CEX) para populações de milho pipoca do EOSC.	80
Figura 8. Imagem da espessura do pericarpo de populações de milho pipoca do EOSC e uma testemunha comercial, obtida por microscopia eletrônica de varredura. (A) população 977A, com elevada capacidade de expansão (30,09 mL g ⁻¹); (B) população 2488A, com baixa capacidade de expansão (11,69 mL g ⁻¹); e (C) testemunha comercial Yoki, com capacidade de expansão de 37,45 mL g ⁻¹	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média, intervalo, coeficiente de variação (CV%) e significância do teste F dos descritores morfológicos avaliados entre 41 populações locais de milho pipoca do EOSC. Parâmetros obtidos a partir da média entre populações e ANOVA	30
Tabela 2 - Correlação entre acúmulo de graus dia para pendoamento (AGD), peso de mil grãos (PMG) e prolificidade (PROL) entre si e outras nove variáveis avaliadas em populações de pipoca coletadas no extremo oeste catarinense.....	35
Tabela 3 - Dados climatológicos durante o desenvolvimento da cultura. Florianópolis - Santa Catarina – Brasil	36
Tabela 4 - Classificação das populações locais de pipoca do extremo oeste catarinense em relação aos graus-dia acumulados (DDA) da emergência ao pendoamento	36
Tabela 5 - Grupos morfológicos com base nas características da planta, espiga, grão e ciclo e suas respectivas populações de pipoca do EOSC.....	39
Tabela 6 - Código de identificação (IDV), características de grão (formato e cor), altitude de origem e tempo de cultivo na mesma propriedade das populações de milho pipoca dos municípios de Anchieta e Guaraciaba, no extremo oeste de Santa Catarina (EOSC), e da variedade de polinização aberta comercial RS-20.....	56
Tabela 7 - Temperatura média (°C), nas altitudes de 801 m (estação meteorológica), 745 m e 410 m, e precipitação (mm) mensal e média histórica do município de Anchieta -SC, durante o período de execução do experimento. Safra 2018/2019.....	59
Tabela 8 - Médias de Altura de planta (AP), altura de espiga (AE), índice AP/AE, diâmetro do colmo (DC), prolificidade (PROL) e número de folhas acima da espiga (NFAE) de populações locais de milho pipoca e cultivar comercial RS-20 cultivados em duas altitudes (745 e 410 m), no município de Anchieta – SC, safra 2018/2019	64
Tabela 9 - Médias de Comprimento de espiga (CE), número de fileiras (NF), índice de circularidade da cariopse (ICC), diâmetro de espiga (DE) e produtividade (PROD) de populações locais de milho pipoca e cultivar comercial RS-20 cultivados em diferentes altitudes no município de Anchieta – SC, safra 2018/2019.	69
Tabela 10 - Médias de número de ramificações do pendão (NRP), grãos por fileira (GF), peso de mil grãos (PMG) e capacidade de expansão (CEX) de populações locais de milho pipoca e cultivar comercial RS-20 cultivados em diferentes altitudes no município de Anchieta – SC, safra 2018/2019	71

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson para as características índice altura de planta/altura de espiga (AE/AP), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), número de grãos por fileira (GF), índice de circularidade da cariopse (ICC), peso de mil grãos (PMG), produtividade (PROD), diâmetro de espiga (DE) e capacidade de expansão (CEX) entre elas e com outras três características (prolificidade - PROL, número de ramificações do pendão - NRP e comprimento de espiga - CE), a partir da média de onze populações locais do EOSC e a testemunha comercial RS 20, em duas altitudes (745 e 410 m)	74
Tabela 12. Características das populações de milho pipoca do EOSC utilizadas no presente estudo e testemunha comercial Yoki.	94
Tabela 13. Análise conjunta para os teores de proteína total, lipídios, cinzas e capacidade de expansão de populações locais do EOSC cultivadas em duas altitudes do município de Anchieta – SC na safra 2018/2019.	103
Tabela 14. Análise de variância individual (espessura do pericarpo) e conjunta (capacidade de expansão) de cinco populações com baixa, média e alta capacidade de expansão em duas altitudes do município de Anchieta – SC. Safra 2018/2019.....	108
Tabela 15. Temperatura média (°C) do município de Anchieta -SC, nas altitudes de 801 m (estação meteorológica), 745 m e 410 m, e precipitação (mm) do município durante o período de execução do experimento. Safra 2018/2019.	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

MAPA Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

EOSC Extremo Oeste de Santa Catarina

SBCS Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

IPGRI International Plant Genetic Resources Institute

EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

NEABio/UFSC Núcleo de Estudos em Agrobiodiversidade da Universidade Federal de
Santa

Catarina

TBCA Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

AOAC Association of Official Agricultural Chemists

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	ESTRUTURA DA TESE.....	19
	REFERÊNCIAS	20
	CAPÍTULO 1.....	23
	RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS DE PLANTA COM RAÇAS DE MILHO PIPOCA DE UM MICROCENTRO DE DIVERSIDADE NO SUL DO BRASIL	23
4	INTRODUÇÃO	24
5	MATERIAL E MÉTODOS	26
5.1	MATERIAL VEGETAL	26
5.2	LOCAL DE ESTUDO E DESENHO EXPERIMENTAL	26
5.3	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E FENOLÓGICA.....	27
5.4	ANÁLISE DOS DADOS	28
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6.1	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.....	29
6.2	FENOLOGIA	35
6.3	ANÁLISE DA DIVERSIDADE	38
6.4	PERSPECTIVAS PARA O ESTUDO DE RAÇAS E MELHORAMENTO	44
7	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS	47
	CAPÍTULO 2.....	52
	POTENCIAL AGRONÔMICO DE POPULAÇÕES LOCAIS DE MILHO PIPOCA DO EXTREMO OESTE DE SANTA CATARINA EM DUAS ALTITUDES	52
8	INTRODUÇÃO	53
9	MATERIAL E MÉTODOS	55

9.1	MATERIAL VEGETAL	55
9.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E PREPARO DA ÁREA	57
9.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	58
10	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
10.1	DADOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO	59
10.2	ANÁLISES INICAIS	60
10.3	MORFOLOGIA.....	61
10.4	COMPONENTES DE RENDIMENTO	67
10.5	ANÁLISE CONJUNTA	70
10.6	CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS	73
10.7	INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE.....	76
11	CONCLUSÕES.....	84
	REFERÊNCIAS	85
	CAPÍTULO 3.....	90
	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E CAPACIDADE DE EXPANSÃO DE POPULAÇÕES LOCAIS DE MILHO PIPOCA DE UM MICROCENTRO DE DIVERSIDADE DO SUL DO BRASIL	90
12	INTRODUÇÃO	91
13	MATERIAL E MÉTODOS	94
13.1	MATERIAL VEGETAL E AMBIENTE EXPERIMENTAL	94
13.2	TÉCNICAS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO DE CAMPO E LABORATÓRIO	95
13.3	ANÁLISES QUÍMICAS	96
13.3.1	proteína bruta	96
13.3.2	extrato etéreo.....	97
13.3.3	cinzas	98
13.4	CAPACIDADE DE EXPANSÃO	98
13.5	MICROMORFOLOGIA DO GRÃO	98
13.6	DADOS METEOROLÓGICOS	99

13.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	99
14	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
14.1	ANÁLISES ESTATÍSTICAS INICIAIS	100
14.2	ANÁLISES QUÍMICAS DOS GRÃOS.....	100
14.3	ESPESSURA DO PERICARPO	107
14.4	CAPACIDADE DE EXPANSÃO	110
14.5	EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS.....	113
15	CONCLUSÕES.....	116
	REFERÊNCIAS	117
16	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
	REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae que teve origem no México e América Central. Possui um genoma de 2,3 gigabases e mais de 32 mil genes. Devido a sua grande adaptabilidade a diversos ambientes, o milho se tornou uma das culturas de importância global, tendo múltiplos usos para alimentação humana e animal. Junto com arroz e trigo, o milho representa, pelo menos, 30% das calorias de mais de 4,5 bilhões de pessoas em cerca de 94 países em desenvolvimento (Schnable et al., 2009; Shiferaw et al., 2011; Hossain et al., 2016).

O milho é a espécie que apresenta a maior diversidade genética dentre as espécies cultivadas, sendo identificada grande quantidade de variedades. Ademais, apresenta grande adaptação edafoclimática, podendo ser cultivada em diferentes altitudes e latitudes. O milho apresenta ainda grande variabilidade para características quantitativas e qualitativas, como reação a doenças, produtividade, composição bioquímica dos grãos, arquitetura de planta e ciclo (Paterniani et al., 2000; Teixeira, 2008). Essa grande adaptabilidade permitiu que a espécie se espalhasse pelo território nacional, estando presente, em praticamente, todos os estados do Brasil. Algumas práticas culturais dos agricultores, como a troca de sementes, viabilizou a obtenção de diversas variedades por um mesmo produtor e possibilitou o cruzamento e a diversificação da espécie. A diversidade genética de culturas agrícolas, como o milho, é um fator de extrema importância no que tange a segurança alimentar, pois, quanto maior a diversidade genética de uma cultura, maior a sua probabilidade de adaptação a mudanças climáticas e ao ataque de pragas.

O material genético disponível, também conhecido como germoplasma, é composto por um conjunto de tipos diferentes de milho, sendo eles: doces, comum ou pipoca. Dentre cada tipo de milho, existem os materiais crioulos (locais), populações melhoradas e materiais exóticos (Nass et al., 1993; Araújo e Nass, 2002). Existem diversos termos para variedades crioulas (variedades locais, tradicionais, antigas, etc), podendo ser autóctones ou alóctones. Autóctones são variedades indígenas, originárias da região, cultivadas no mesmo local há mais de um século. Alóctones são variedades originárias de outro local, mas que se adaptaram ao novo ambiente pelo cultivo por longo período de tempo (Zeven, 1998).

Existem diversas definições para variedade crioula; a primeira definição foi dada por Rümker (1908), que as definiu como variedade cultivada dentro de uma região e que leva o nome da região na qual é cultivada desde tempos imemoriais. Harlan (1975) descreveu

variedades crioulas como populações constituídas de uma mistura de genótipos em que todos são razoavelmente bem adaptados à região em que evoluíram e que diferem em pequenas adaptações para condições particulares dentro do ambiente. Essas diferenças podem estar associadas às reações a doenças, pestes, à competição e aos estresses abióticos (Zeven, 1998). Ogliari et al., (2007) define variedades crioulas como populações cultivadas, distintas geograficamente ou ecologicamente, diversas em sua composição genética, bem como adaptadas à condição agroclimática local. Apesar de muitas definições, todas apresentam características em comum, como a diversidade entre e dentro de populações, adaptações ao ambiente em que evoluíram (local de cultivo), tempo de cultivo e práticas de seleção dos agricultores. Todas essas características contribuem para a íntima relação dessas variedades com seus mantenedores, tornando-as tradicionais de determinada região, sendo a sua origem muito relacionada ao conhecimento tradicional.

Existem cerca de 4.000 acessos de milho na coleção de germoplasma da Embrapa-Cenargem. Dentre estes, cerca de 82,1% são variedades crioulas obtidas por doações (Teixeira, 2008). Entretanto, um dos problemas encontrado é a deficiência na caracterização desses materiais quanto a suas aptidões agrícolas (produtividade, resistência a doenças, acamamento, entre outros). Por isso, conhecer os materiais disponíveis nos bancos de germoplasma é de fundamental importância para a tomada de decisão em programas de melhoramento.

O município de Anchieta, em Santa Catarina, é a capital nacional da produção de sementes crioulas (Lei Nº 13.562, de 21 de dezembro de 2017) e, juntamente com Guaraciaba, apresenta uma grande variabilidade de milho identificada. Nesses municípios, o cultivo do milho crioulo é realizado por unidades de produção familiar, sendo esse milho destinado ao consumo na própria propriedade. Devido ao cultivo durante muito tempo (algumas variedades mantidas por até 80 anos), as variedades estão adaptadas às condições de clima, solo e manejo da microrregião. Recentemente, foram identificadas 1.513 populações de milho nesses locais, categorizadas em milhos comuns, pipoca, doce e farinha (Ogliari et al., 2013; Costa et al., 2016), por meio do censo realizado pelo Núcleo de Pesquisa em Agrobiodiversidade (NEABio – UFSC), de 2011 a 2013, através do projeto *Mays* (Estratégias integradas de Manejo, Uso e Conservação da Diversidade de Variedades Locais de Milho comum e Milho pipoca Conservadas por Agricultores Familiares do oeste de SC). Essas 1.513 populações são mantidas por agricultores familiares dos municípios de Anchieta e Guaraciaba, sendo que 1.078 são variedades de milho pipoca (Costa et al., 2016). O milho pipoca se caracteriza pela

capacidade de seus grãos, pequenos e duros, expandirem quando aquecidos a temperaturas de aproximadamente 180 °C, o que o diferencia dos demais tipos de milho.

O consumo nacional de pipoca gira em torno de 80 mil toneladas, sendo que desta quantidade, cerca de 75% corresponde à pipoca importada, principalmente da Argentina (Sawazaki, 2001; Kist, 2018). Desse modo, nota-se a importância de avaliar variedades nacionais a fim de introduzi-las ao mercado e aumentar o consumo de produtos locais. Em termos de cultivares comerciais, existem cerca de 129 cultivares registrados no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). No entanto, não existem muitos trabalhos que buscam avaliar o potencial genético de variedades crioulas de milho-pipoca.

Em 2013, na segunda fase do projeto (*Mays II*), foram coletadas 149 amostras para compor a Coleção Nuclear das diversidades conservadas *on farm* na região junto ao Banco de Germoplasma da UFSC (Silva, 2015). A partir das amostras, foram feitos estudos em 70 populações de milho pipoca e, com base nos dados obtidos de espiga e grão, foram identificadas três novas raças de milho pipoca, além de duas muito similares a raças cultivadas pelos índios Guaranis (Silva et al., 2016). Uma raça de milho é definida como um grupo relacionado de populações com características em comum que permitem o seu reconhecimento como grupo (Anderson e Cutler, 1942). Para a classificação em raças, o trabalho de Silva et al. (2016) utilizou dezesseis características de espiga e grãos para separar os materiais coletados em grupos. Entretanto, características de planta, ciclo, produtividade e composição química dos grãos ainda precisam ser estudadas.

A diversidade presente no Extremo Oeste de Santa Catarina (EOSC) ficou evidente no trabalho de Silva et al. (2016), no qual os estudos de caracterização morfológica diferenciaram 61 populações locais de milho pipoca quanto a características de espiga e grão. Essas populações foram separadas em sete categorias de cores, sendo que do total, 43% eram brancas, 20% pretas, 16% alaranjadas, 10% amarelas, 5% vermelhas, 3% coloridas e 3% roxas. Quanto ao formato do grão, foram encontrados grãos lisos, pontudos e ambos. Correlacionar as características de espiga e grão com características de planta e ciclo é importante para entender como as raças se comportam no que tange às características de planta e como a seleção que o produtor faz afeta as características morfológicas e fenológicas da planta.

O milho apresenta grande importância cultural e socioeconômica para a região de Anchieta e Guaraciaba, sendo que a grande variabilidade genética, a contextualização social e o saber fazer dos produtores da região resultaram no reconhecimento de Anchieta como a

capital nacional da produção de sementes crioulas (BRASIL, 2017). Nos trabalhos realizados pelo Núcleo de estudos na região, existem fortes evidências que fortalecem a importância humana, cultural, valor nutricional, diversidade, história e saber fazer sobre a diversidade de milho da região (Ogliari et al., 2007; Kuhnen et al., 2010; Vogt et al., 2009; Kist et al., 2010; Ogliari et al., 2013;). Ademais, o ambiente pode contribuir de forma decisiva nas características morfológicas, comportamento agrônomo e composição bioquímica das variedades. Nesse sentido, levando em consideração todos os componentes anteriormente citados, compreender como o ambiente dos municípios afeta os componentes de rendimento e qualidade culinária das populações de milho pipoca é fundamental para entender o dinamismo dessa diversidade.

Ambientes com grande variação em altitude, como é o caso do município de Anchieta, no EOSC, onde cerca de 75% do relevo é considerado fortemente ondulado, variando de 400 a 950 metros (Canci & Brassiani 2004), contribuem para a diversificação de espécies, devido ao gradiente de condições climáticas que promovem. Gradientes de altitude causam a mudança climática dentro de uma curta distância, reduzindo a temperatura, pressão atmosférica e aumentando a radiação atmosférica, além de ocasionar uma maior diferença entre temperaturas diurnas e noturnas. O crescimento das plantas ao longo de um gradiente de temperatura sofre a influência, principalmente, da redução de temperatura, sendo que plantas como o milho podem ter seu ciclo aumentado em locais mais elevados (Ahmad et al., 2018; Körner, 2007; Xue-jun et al., 2013). Estudos de Gonçalves et al. (2019) e Ávila (2018) indicam que há diferenças no comportamento agrônomo e químico das variedades locais de milho pipoca quando cultivados no EOSC e em Florianópolis, entretanto, avaliações no gradiente ambiental local ainda não foram realizados para milho pipoca.

Tendo em vista que o ambiente apresenta influência sobre as características morfológicas e fisiológicas das plantas, a heterogeneidade do ambiente nos municípios de Anchieta e Guaraciaba podem causar repostas distintas das populações locais de milho pipoca. Verificar essa influência é importante para compreender como as populações respondem a essas mudanças mesmo dentro do local de origem. Desse modo, tendo em vista a necessidade de estudos com populações nacionais de milho pipoca e a compreensão do efeito do ambiente sobre esses materiais, estudos como este se fazem importantes. Ainda, avaliar o potencial produtivo e qualidade culinária dos materiais locais do EOSC podem servir como subsídios para a criação de programas de incentivo e comercialização desses materiais,

contribuindo para o cultivo e conservação, tornando-os uma fonte de renda para os agricultores locais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

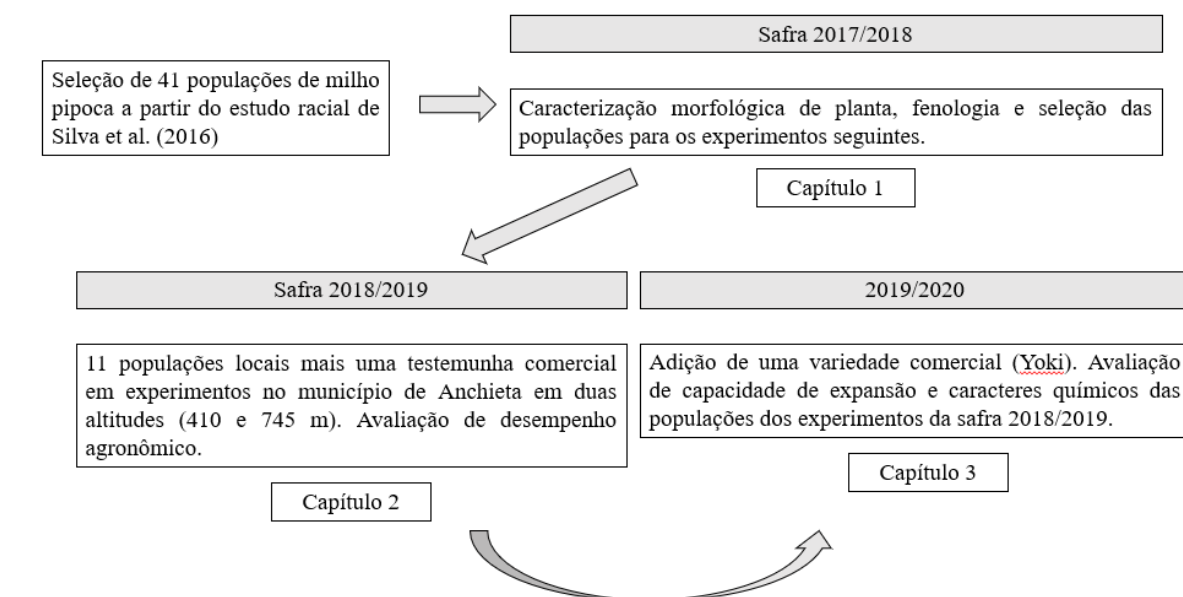
Analisar a diversidade das populações locais de milho pipoca quanto aos caracteres vegetativos e de ciclo, além de compreender as associações entre os componentes geográficos e o comportamento agrônomo, bioquímico e de expansão de diferentes representantes das raças de milho-pipoca dos municípios de Anchieta e Guaraciaba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a diversidade das populações de milho pipoca quanto aos caracteres vegetativos e ciclo;
- Avaliar o comportamento agrônomo das populações de milho pipoca quando cultivados em diferentes altitudes dos municípios em estudo;
- Verificar o efeito do ambiente sobre as características agrônomo e bioquímicas das populações de milho pipoca, identificando variações que afetam a qualidade do milho pipoca quando cultivados em seu local de origem;
- Associar o comportamento agrônomo e bioquímico das populações em relação às raças de milho pipoca presentes na região;
- Identificar materiais com potencial de seleção para características bioquímicas, agrônomo e capacidade de expansão.

3 ESTRUTURA DA TESE

Figura 1 - Fluxograma organizacional da estrutura da tese.



REFERÊNCIAS

AHMAD, M., UNIYAL, S. K., SINGH, R. D. Patterns of alien plant species richness across gradients of altitude: analyses from the Himalayan state of Himachal Pradesh. **Tropical Ecology**, v.59, p. 35-43, 2018.

ANDERSON, E.; CUTLER, H. Races of Zea mays. I. Their recognition and classification. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.29, p.69-89, 1942.

ARAÚJO, P. M.; NASS, L. L. Caracterização e avaliação de milho crioulo. **Scientia Agrícola**, v. 59, p. 589-593, 2002.

ÁVILA, L. N. V. **Caracterização de variedades crioulas de milho pipoca do extremo oeste de santa catarina por espectroscopia vibracional de infravermelho próximo**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. 77 p. 2018.

BRASIL, Lei Nº 13.562, de 21 de dezembro de 2017. **Confere ao Município de Anchieta, no Estado de Santa Catarina, o título de Capital Nacional da Produção de Sementes Crioulas**, Brasília, DF, 2017.

CANCI, I.J.; BRASSIANI, I.A. **Anchieta: história, memória e experiência uma caminhada construída pelo povo**. São Miguel do Oeste: McLee, 418 p., 2004.

COSTA, F. M.; SILVA, N. C. D. A.; OGLIARI, J. B. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, p. 681-700, 2016.

GONÇALVES, G. M. B., MAYER, L. B., SOUZA, R., OGLIARI, J. B. Yield and popping expansion components in local popcorn varieties from Southern Brazil. **Acta Agronômica**, v.68, p.213-221, 2019.

HARLAN, J.R. Our vanishing genetic resources. **Science**. v. 188: 618–621, 1975.

HOSSAIN, F.; MUTHUSAMY, V.; BHAT, J. S.; JHA, S. K.; ZUNJARE, R.; DAS, A.; SARIKA, K.; KUMAR, R. Maize. In: SINGH, M.; KUMAR, S. (Eds.) **Broadening the genetic base of grain cereals**, New Dheli, Springer, p. 67-88, 2016.

KIST, V.; OGLIARI, J. B.; MIRANDA FILHO, J. B.; ALVES, A. C. Genetic potential of a maize population from Southern Brazil for the modified convergent divergent selection scheme. **Euphytica**, v. 176, p. 25-36, 2010.

KÖRNER C. The use of ‘altitude’ in ecological research. **Trends in Ecology & Evolution**, v.22, p. 569-574, 2007.

KUHNEN, S.; LEMOS, P. M. M.; PIT, F. A; OGLIARI, J. B.; DIAS, P. F.; MARASCHIN, M. Chemical Features and pharmacological properties of carotenoids from seeds of maize local varieties. **Phytomedicine**, 2010.

NASS, L.L.; PELLICANO, I.J.; VALOIS, A.C.C. Utilization of genetic resources for maize and soybean breeding in Brazil. **Brazilian Journal of Genetics**, v.16, p.983-988, 1993.

OGLIARI, J. B.; ALVES, A. C.; KIST, V.; FONSECA, J.A. da; BALBINOT Jr, A. A. Análise da diversidade genética de variedades locais de milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 2, p. 191-195, 2007.

OGLIARI, J. B.; SOUZA, R.; KAMPHORST, S. H.; GONÇALVES, G. M. B.; CANCI, A.; LAZZARI, L. Manejo e uso participativo de variedade crioula de milho como estratégia de conservação: experiência do Núcleo de Estudos em Agrobiodiversidade no Oeste de Santa Catarina. **Cadernos de Agroecologia**, v.8, p. 1-5, 2013.

PATERNIANI, E.; NASS, E.; SANTOS, M. X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil – uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C. V.;

DUARTE, W. (Org.) **Uma história brasileira do milho – o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p. 11- 42.

RÜMKER, K. VON. Die systematische Einteilung und Benennung der Getreidesorten für praktische Zwecke. **Jahrbuch der Deutschen landwirtschafts-Gesellschaft**. v. 23, p. 137–167, 1908.

SAWAZAKI, E. A cultura do milho-pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, v. 53, n. 2, p. 11-13, 2001.

SCHNABLE, P. S.; WARE, D.; FULTON, R. S.; et al. The B73 maize genome: complexity, diversity and dynamics. **Science**, v. 326, p. 1112–1115, 2009.

SHIFERAW, B.; PRASANNA, B. M.; HELLIN, J.; BANZIGER, M.; Crops that feed the world. 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. **Food Security**, v. 3, p. 307–327, 2011.

SILVA, N. C. A. **Conservação, diversidade e distribuição de variedades locais de milho e seus parentes silvestres no extremo oeste de Santa Catarina, sul do Brasil**. 2015. 228p. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.

SILVA, N. C. DE A.; VIDAL, R. M.; OGLIARI, J. B. Diversidade de variedades locais de milho-pipoca conservada in situ on farm em Santa Catarina: um germoplasma regional de valor real e potencial desconhecido. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.29, p. 78-85, 2016.

TEIXEIRA, F. F.; Milho Cultivado no Brasil e banco de germoplasma – uma forma de classificação da variabilidade genética, **EMBRAPA**, Comunicado Técnico, 2008, 11p.

VOGT, G.; HEMP, S; NICKNICH, W; OGLIARI, J. B.; ALVES, A. C. Produtividade de variedades de polinização aberta de milho em cultivo orgânico. **Agropecuária Catarinense**, v. 22, p. 76-80, 2009.

XUE-JUN. C., GUANG-CAI, C., QUN, S., DONG-BIN, W., JING, C., YA-XIONG, Y., JIE L., WEI, L. Altitude effects on maize growth period and quality traits. **Acta Ecologica Sinica**, v.33, p. 233-236, 2013.

ZEVEN, A. C. Landraces: A review of definitions and classifications. **Euphytica**. v. 104, p. 127-139, 1998.

Artigo Publicado na revista **Research, Society and Development**. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16734>

CAPÍTULO 1

RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS DE PLANTA COM RAÇAS DE MILHO PIPOCA DE UM MICROCENTRO DE DIVERSIDADE NO SUL DO BRASIL

RESUMO O Extremo Oeste de Santa Catarina (EOSC) no sul do Brasil é considerado um microcentro de diversidade do gênero *Zea*. Nessa região, populações locais de milho pipoca são cultivados em pequenas áreas, mas em um número considerável de propriedades. O presente estudo teve por objetivo caracterizar a diversidade de 41 populações locais da região, baseado na fenologia e em um conjunto de caracteres de planta, espiga e grãos. Para isso, um experimento em blocos completos casualizados com duas repetições foi realizado. Os dados obtidos permitiram identificar uma importante diversidade de milho pipoca no EOSC para as características de planta, espiga, grãos e fenologia. Para a cor do grão, 20 populações apresentaram grãos brancos, nove pretos, nove amarelos, duas vermelhos e uma alaranjado. Com relação ao ciclo, todas as populações de grãos amarelos foram consideradas hiperprecoces/precoces e as populações de grãos brancos, intermediárias/tardias. A média de altura de planta variou entre 1,8 e 3,2 m, enquanto que o peso de mil grãos variou de 80,9 a 200,4 g. O acúmulo de graus dia para o pendoamento variou de 689,05 a 1090,57 GD. Baseado na análise de agrupamento de características quantitativas e qualitativas, três grupos foram formados, e cinco populações ficaram isoladas pelo ponto de corte. A inclusão de características de planta e fenologia pode ser uma ferramenta importante para complementar futuros estudos de raças em milho pipoca, no qual a identificação é atualmente realizada basicamente com características de espiga e grãos. Tendências em algumas características vegetativas foram observadas em variedades que apresentaram a mesma coloração e formato de grãos. Esses resultados possuem informações importantes para o melhoramento genético do milho pipoca.

Palavras-chave: Caracterização de germoplasma, Pipoca, Diversidade genética, Populações locais, *Zea mays* L.

4 INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes tipos de milho, a pipoca se destaca pela importância culinária e cultural. É caracterizada pela capacidade de expandir o endosperma quando exposto ao calor. Essa característica se deve aos componentes físicos e químicos do grão, que quando aquecidos, rompem o pericarpo e expõem o endosperma (Zinsly e Machado 1978; Borrás et al. 2006).

Até o início dos anos 2000, a maior parte da pipoca consumida no Brasil era importada. Com o aumento da demanda nacional, a produção se expandiu, as importações de grãos diminuíram e a importação de cultivares híbridas americanas, registradas por empresas de embalagem, aumentou (Sawazaki et al. 2003; Kist, 2018). Embora o mercado brasileiro trabalhe principalmente com um tipo específico de grão (o tipo americano, que possui grão redondo, tamanho médio a grande e cor amarelo-laranja), a pipoca apresenta grande diversidade quanto ao formato e cor do grão (Nobre et al. 2000; Sawazaki 2010; Paraginski et al. 2016). No entanto, tanto para o milho comum quanto para a pipoca, essa importante diversidade fora dos padrões comerciais é geralmente cultivada por povos indígenas, quilombolas ou pequenos agricultores. Ademais, essa diversidade é importante para a conservação da espécie e para programas de melhoramento como fonte de características (Nass e Paterniani 2000; Gorjanc et al. 2016).

Cultivares comerciais de milho pipoca no Brasil não receberam muita atenção dos programas de melhoramento em comparação com outros tipos de milho, de modo que são relativamente mais suscetíveis a doenças e superprecoces no ciclo, apresentam, em geral, mais depressão endogâmica, caule frágil e maior prolificidade, reduzida capacidade de expansão, além de emitir perfilhos com maior frequência e ter sistema radicular menos desenvolvido, tornando-os mais suscetíveis ao acamamento (Vendruscolo et al. 2000; Miranda et al. 2003).

A limitada diversidade genética da pipoca entre as cultivares modernas e a pouca diversidade representada nos principais bancos de germoplasma do país têm restringido os avanços nos programas de melhoramento de milho pipoca no Brasil (Silva et al. 2015). Uma das formas de tornar os programas de melhoramento mais eficientes é para expandir a diversidade genética e, portanto, a identificação de materiais geneticamente contrastantes com potencial variabilidade para seleção é fundamental, sendo um dos pilares do melhoramento. Assim, a qualificação e quantificação da diversidade genética presente em bancos de germoplasma, com base em características agronômicas, morfológicas, bioquímicas e moleculares, permitem definir as prioridades das atividades relacionadas com a conservação

de germoplasma, melhoramento genético participativo e conhecer o potencial desse germoplasma em programas convencionais de melhoramento genético (Munhoz et al. 2009; Paula et al. 2010).

Na espécie *Zea mays* L., uma forma inicial de classificar a diversidade de populações é definir raças. Cerca de 300 raças de milho, amplamente distribuídas no continente americano, já foram classificadas no hemisfério ocidental (Nass e Paterniani 2000; Vilaró et al. 2020), e novas raças sendo descobertas recentemente (Silva et al. 2016). Uma raça é definida como um grupo relacionado de populações com características comuns que permitem que sejam reconhecidas como um grupo (Anderson e Cutler 1942), sendo considerada um dos primeiros níveis de classificação da diversidade em coleções de milho. Para o estudo das raças, são consideradas as características da espiga e do grão, uma vez que a classificação é realizada após a colheita. No entanto, a avaliação das características das plantas pode ajudar a aprofundar a classificação das raças e contribuir para o melhoramento da pipoca, uma vez que estudos têm demonstrado a possibilidade de a cor do grão estar relacionada a grupos heteróticos na pipoca (Amaral Júnior et al. 2011; Vittorazzi et al. 2018).

Grupos heteróticos podem ser definidos como uma coleção de germoplasma que, quando cruzado com acessos de outro grupo, apresenta níveis mais elevados de heterose do que quando cruzado com acessos do mesmo grupo (Lee 1995). Os estudos de grupos heteróticos ancoram planos de cruzamentos específicos para obter híbridos com foco em diferentes características (Hallauer et al. 2010). Assim, a classificação de materiais com base nas características da planta, espiga e grão permite a identificação de grupos heteróticos dentro e entre raças.

Os municípios de Anchieta e Guaraciaba no extremo oeste catarinense (EOSC), sul do Brasil, possuem uma importante diversidade de diferentes tipos de milho conservados *on farm*. Durante os anos de 2011 e 2012, foram identificadas 1.513 populações locais de milho (comum, pipoca, doce e farináceo) na região, das quais 1.078 eram pipoca, em sua maioria conservadas por mulheres agricultoras. Devido a essa diversidade de populações locais e à presença de parentes silvestres do milho, essa região foi indicada como um microcentro de diversidade do gênero *Zea* (Costa et al. 2016). Após coletar populações em 2013 que representam a diversidade local desta microrregião (Vidal 2016, Vidal et al. 2018), um estudo racial com base nas características de espigas e grãos foi realizado por Silva et al. (2016), e a partir da qual identificaram pelo menos cinco raças de pipoca, três das quais foram consideradas novas. Essas raças tiveram duas origens distintas: uma das populações de terras

baixas da América do Sul, e a outra resultante da seleção de mulheres agricultoras da região e posterior diversificação (Silva et al. 2020).

Estudos que objetivam associar características das plantas às raças de milho pipoca são inexistentes, porém podem ser fundamentais para o entendimento da diversidade da espécie. Com base nessa perspectiva, o presente estudo teve como objetivo avaliar a diversidade de 41 populações locais de milho pipoca da coleção de germoplasma coletada na região do EOSC para estudar as possíveis relações entre os caracteres fenológicos e morfológicos das características da planta, espiga e grãos.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL VEGETAL

Em 2013, foram coletadas populações locais de pipoca em pequenos agricultores de dois municípios (Anchieta e Guaraciaba) do EOSC, sul do Brasil, para compor uma coleção nuclear com base na diversidade conservada *on farm* na região. A estratégia de coleta de populações considerou índices de diversidade a partir de dados de identificação de variedades locais, características morfológicas do grão, localização geográfica e valores de uso e conservação na visão dos agricultores, organizados em 13 categorias por Costa et al. (2016). O método de amostragem M foi escolhido por Vidal (2016) e Vidal et al. (2018) porque abrangeu a maior diversidade com tamanho de amostra menor. Essa abordagem resultou na coleta de pipoca do banco de germoplasma da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com base em 174 populações do EOSC. Foram identificadas pelo menos cinco raças por Silva et al. (2016) utilizando caracteres morfológicos associados à espiga e grão de uma amostra de 70 populações de pipoca desta coleção. Para este estudo, uma amostra de 41 populações locais de milho pipoca, representando quatro das cinco raças previamente classificadas por Silva et al. (2016), foram avaliadas quanto à fenologia e características morfológicas da planta, espiga e grão na fazenda experimental da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis - SC, na safra 2017/2018. A seleção das populações foi baseada em avaliação da diversidade a partir das características avaliadas por Silva et al. (2016), sendo analisada a distância entre as populações dentro de cada grupo obtido.

5.2 LOCAL DE ESTUDO E DESENHO EXPERIMENTAL

O município de Florianópolis está localizado na latitude 27,41 ° S e longitude 48,32 ° O, ao nível do mar; possui solo classificado como Neossolo Hidromórfico Quartzarênico

típico (SBCS, 2004), temperatura média anual de 20,1 °C e precipitação média anual de 1.462 mm.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados completos com duas repetições, uma vez que as variáveis em questão fazem parte dos descritores mínimos para o milho e, portanto, menos sujeitas à influência da heterogeneidade do ambiente de cultivo (Casler, 2014). A unidade experimental constou de duas fileiras de 5 metros lineares, espaçadas 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, e uma parcela útil central de 2,4 m².

Após o desbaste, estabeleceu-se uma densidade de plantas de 62.500 plantas ha⁻¹. A adubação foi realizada com base na análise do solo e seguindo as recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SCBS 2016).

5.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E FENOLÓGICA

A caracterização das populações foi realizada com base nos descritores mínimos para milho, publicados pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (Brasil 1997) e pelo Instituto Internacional de Recursos Genéticos Vegetais (IPGRI 2000). No total, foram avaliados 25 descritores de planta, espiga e grão, em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. As seguintes características quantitativas foram avaliadas com base na média de 10 plantas na parcela útil: (a) Altura da planta (m); (b) Altura da espiga (m); (c) Índice de altura da espiga/altura da planta; (d) Comprimento do pendão (cm); (e) Número de ramificações do pendão; (f) Diâmetro do colmo (mm); (g) Folhas acima da espiga; (h) Prolifividade; (i) Número de raízes adventícias; (j) Número de entrenós; (k) Comprimento da espiga (cm); (l) Diâmetro da espiga (cm); (m) Grãos por espiga; e (n) Número de fileiras da espiga. Para o peso de mil grãos (o), 100 grãos foram coletados aleatoriamente de cada bloco e pesados, sendo então extrapolados para mil grãos (a análise foi feita em triplicata). A partir de uma amostra de 10 grãos da parte central da fileira de cinco espigas da parcela útil, o índice de circularidade cariopse (p) foi avaliado pela equação (1):

$$CI = LWT^{\frac{1}{3}}/L \quad (1)$$

Sendo: L - comprimento do grão; W - largura do grão e T - espessura do grão. As características qualitativas avaliadas com base no valor da moda da escala de notas correspondente foram: (q) Cor do grão (1- amarelo, 2 - preto, 3 - branco, 4 - vermelho, 5 - laranja); (r) cor do endosperma (1 - amarelo, 2 - incolor); (s) Forma do grão (1 - redondo, 2 pontiagudo); (t) Pigmentação da antera por antocianina (1 - presente, 2 - ausente); (u)

Pigmentação do estigma por antocianina (1 - presente, 2 - ausente); (v) Pigmentação do coleóptilo por antocianina (1 - presente, 2 - ausente); (x) Cor do sabugo (1 - Branco, 2 - vermelho); (w) Posição da espiga (1 - ereta, 2 - oblíqua, 3 - decumbente); (y) Ângulo entre a folha e o colmo (1 - pequeno, 2 - médio, 3 - grande).

Para as características fenológicas, foi avaliada uma amostra aleatória de 10 plantas da parcela útil, desde a emergência até a maturidade fisiológica em graus dias e dias após a emergência. O número de graus-dia foi estabelecido pela soma térmica das médias diárias máximas e mínimas, considerando uma temperatura basal de 10° C, desde o momento da emergência até a mudança de cada estágio fenológico de 50% + 1 planta de cada parcela. Como ponto de referência, foi utilizado o estágio de pendramento (VT), calculado por meio da Equação (2).

$$ADD = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \right) \quad (1)$$

onde Tmax e Tmin se referem, respectivamente, às temperaturas do ar máxima e mínima diárias (°C), e Tb para a temperatura basal inferior (10 °C) da cultura.

5.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados de caracterização das variáveis qualitativas foram analisados por meio de estatística descritiva (frequências absolutas e relativas). Além disso, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para verificar as características quantitativas que apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as populações pelo teste F. As características que não diferiram entre as populações foram eliminadas das análises a seguir.

Para entender as relações entre as características quantitativas, foi realizada a análise de correlação de Pearson com base na média de cada característica. Para as variáveis que apresentaram alta correlação ($r > 0,8$), uma delas foi eliminada das análises posteriores, junto com aquelas com a menor diversidade geral.

A análise de agrupamento foi realizada com base em 18 características morfológicas quantitativas e qualitativas da planta, espiga e grão, ou seja, acúmulo de graus-dia, índice altura da espiga/altura da planta, comprimento do pendão, ramificações do pendão, prolificidade, número de entrenós, diâmetro do colmo, raízes adventícias, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, grãos por espiga, número de fileiras por espiga, peso de mil grãos, índice de circularidade da cariopse, cor do grão, cor do endosperma, formato do grão e cor do sabugo. O índice de similaridade de Gower (Gower 1971) e o agrupamento pelo algoritmo UPGMA foram usados para a análise da diversidade, com base em uma matriz de todos os

dados qualitativos e as variáveis quantitativas que atenderam aos critérios descritos acima. Para as variáveis quantitativas, foram utilizadas médias matemáticas e a moda para as variáveis qualitativas.

A análise de componentes principais (PCA) (Abdi e Williams 2010) foi realizada usando a matriz de covariância de amostra de dados quantitativos padronizados, para esclarecer as inter-relações entre as variáveis populacionais. Para as variáveis que apresentaram correlação maior que 0,8, uma delas foi retirada da análise de componentes principais. Assim, as variáveis utilizadas para o (PCA) foram ramificações do pendão, prolificidade, grãos por fileira, folhas acima da espiga, comprimento do pendão, diâmetro do colmo, raízes adventícias, número de entrenós, acúmulo de graus-dias, índice de altura da espiga/altura da planta, comprimento da espiga, índice de circularidade da cariopse, número de grãos por fileira, peso de mil grãos e diâmetro da espiga.

Os dados de diversidade obtidos a partir das variáveis qualitativas e quantitativas foram analisados usando o software PAST 3.04 (Hammer et al. 2001).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

A caracterização morfológica demonstrou que as populações locais de milho pipoca do EOSC apresentam diversidade para características qualitativas e quantitativas.

As características qualitativas das fases vegetativa e reprodutiva se distribuíram da seguinte forma: presença de pigmentação no coleótilo pela antocianina (82,9%) e ausência de pigmentação (17,1%); ângulo intermediário entre folhas e colmo (95,2%) e ângulo pequeno (4,8%); formato arredondado/espatulado da primeira folha (100%); presença de pigmentação no estigma pela antocianina (56,09%) e ausência de pigmentação (43,91%); ausência de pigmentação da antera pela antocianina (73,2%) e presença de pigmentação (26,8%); posição ereta das espigas (87,8%) e decumbentes (12,2%).

Quanto à cor, nove populações apresentavam grãos amarelos, duas vermelhos, nove pretos, 11 brancos e uma alaranjado. Todas as populações de cor vermelha, preta e alaranjada apresentaram grãos com formato arredondado. Para populações de grãos amarelos, apenas a população de 2152A tinha formato pontiagudo. As populações de grãos de cor branca apresentaram maior diversidade para esta característica, contendo quatro populações com grãos arredondados e sete com grãos pontiagudos.

A maioria das características quantitativas apresentou diferenças significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$), exceto para o número de folhas acima da espiga. Como essa característica não contribuiu para a diversidade geral das populações, foi excluída de análises posteriores. A variação entre as populações para as características quantitativas é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Média, variação, coeficiente de variação (CV%) e probabilidade alfa dos descritores morfológicos avaliados entre 41 populações locais de milho pipoca do EOSC. Parâmetros obtidos a partir da média entre populações e ANOVA

Descritor	Média	Variação	CV (%)	Valor <i>p</i>
AGD Pendoamento ^a	909.35 ^a	689.05-1090.57	2.24	0.0***
Altura de planta (m)	2.58 ^b	1.8-3.22	5.40	0.0***
Altura espiga (m)	1.41 ^b	0.64-2.22	4.46	0.0***
Número de folhas acima da espiga	5.5 ^b	5-6	9.83	2.114 ^{ns}
Diâmetro do colmo (mm)	15.56 ^b	13.35-19.05	5.95	0.001***
Número de ramificações do pendão	18.94 ^b	12.35-26.54	7.76	0.0***
Índice AE/AP ^c	0.53 ^c	0.35-0.68	6.22	0.0***
Prolificidade	1.94 ^c	1.2-2.6	10.69	0.005**
Comprimento da espiga (cm)	15.59 ^d	12.7-20.3	2.53	0.0***
Diâmetro do colmo (mm)	31.77 ^d	23.3-42.5	4.20	0.0***
Índice de circularidade	0.73	0.64-0.80	3.07	0.001***
Peso de mil grãos	139.13 ^e	80.9-200.4	1.66	0.0***

^a Calculado a partir do momento em que 50% + 1 das plantas da parcela atingiram VT. ^b Média obtida em duas repetições, estimada em dez plantas da parcela útil. ^c Índice obtido pela divisão da altura da planta pela altura da espiga principal. ^d Média obtida em uma amostra de cinco espigas de cada bloco. ^e Média obtida pelo peso médio de 300 grãos por bloco. ** Significativo a 5% de probabilidade de erro no teste F. ^{ns} não significativo.

Em relação à altura média das plantas das populações, três apresentaram altura inferior a 2,0 m (2425A, 2138B e 1110A), 13 entre 2,0 e 2,5 (2255B, 2604B, 760A, 1119X, 2526C, 2359B, 2304A, 2438D, 123C, 2489E, 2079A, 2488A e 229B), 20 entre 2,5 e 3,0 m (123B, 778B, 2091A, 2454A, 574A, 977A, 2108A, 2312A, 2423A, 2393B, 1100B, 2093A, 2376X, 2305A, 236B, 2379A, 2241A, 2152A, 2376 e 2279X), e cinco acima de 3,0 m (2110A, 2015A, 2101B, 2358A e 407X).

Das 41 populações avaliadas, 15 tinham altura de planta inferior a 2,5 metros. No trabalho de Paula et al. (2010), avaliando dez genótipos de milho pipoca, entre eles linhagens puras da Universidade Federal de Viçosa, cultivares de polinização aberta e híbridos, não encontraram materiais com alturas superiores a 1,90 metros. Dos dez, apenas um genótipo tinha grãos brancos; todos os outros tinham grãos amarelos. Plantas muito altas são indesejáveis na cultura do milho devido à possibilidade de acamamento. No entanto, é uma característica quantitativa altamente influenciada tanto pelo genótipo quanto pelo ambiente. Estudos de diversidade em milho mostram a grande amplitude que esta característica pode apresentar. Oner e Gulumser (2014) encontraram uma variação de altura de 1,02 a 3,74 metros, na Turquia; Dar et al. (2018), 74,66 cm a 2,05 metros na Ásia; Goodman e Paterniani (1969), 1,80 a 3,00 metros, no Brasil, e; Kizilgeci et al. (2018), 1,65 a 3,15 metros, na Turquia.

Para o índice altura de espiga/altura da planta (AE/AP), os valores mínimo e máximo foram 0,36 (2425A) e 0,69 (407X), respectivamente. Dez populações apresentaram valores abaixo de 0,5 (2425A, 2138B, 1110A, 1119X, 760A, 2255B, 2359B, 2526C, 2423A e 2093A), 23 populações entre 0,5 e 0,6 (123B, 2604B, 2438D, 2454A, 977A, 2091A, 778B, 2376X, 229B, 2489E, 123C, 2304A, 574A, 2488A, 1100B, 2393B, 2379A, 2152A, 2305A, 2108A, 2015A, 2241A e 2279X) e oito populações acima de 0,6 (2312A, 2376, 2079A, 2110A, 2101B, 2358A, 236B e 407X). O índice AE/AP representa a relação entre a altura da espiga e a altura da planta; valores acima de 0,6 indicam que a espiga está muito alta em relação à altura da planta, o que pode contribuir para o acamamento (Zsubori et al., 2002).

Em relação à estrutura da planta, a relação entre a altura da planta, a altura da espiga e o diâmetro do caule é fundamental para evitar o acamamento. Assim, o índice AE/AP é importante, pois mostra a relação entre a altura da planta e a altura de inserção da espiga. No trabalho de Paula et al. (2010), com variedades e híbridos de pipoca, os índices variaram de 0,53 a 0,60. No trabalho de Scapim et al. (2002), avaliando nove variedades comerciais e seus cruzamentos, foram encontrados índices entre 0,41 e 0,57 e altura de planta entre 1,31 e 1,70. Nas populações deste estudo, o índice variou de 0,35 a 0,68. Os menores índices de AE/AP e médias de altura de planta foram encontrados entre as populações de grãos amarelos, o que pode sugerir a ocorrência de algum nível de melhoramento prévio desses materiais.

Quanto ao diâmetro do colmo, a pipoca em geral apresenta diâmetro menor que o do milho comum. No trabalho de Dar et al. (2018), avaliando 10 variedades de milho comum de polinização aberta, os autores obtiveram diâmetro médio do caule de 53,3 mm e intervalo de

35 a 63,3 mm. As populações de pipoca neste estudo variaram de 13,35 a 19,05 mm, com uma média geral de 15,56 mm. A associação de caule fino, alta altura de inserção da espiga e plantas altas favorecem o acamamento. No entanto, populações como 2152A, 2241A, 778B e 123B, com diâmetro médio do caule de 16,8, 17,05, 17,34 e 19,05 mm, respectivamente e AE/AP de 0,57, 0,59, 0,52 e 0,50, nessa ordem, apresentaram boas características de estrutura da planta. No trabalho de Almeida et al. (2015), avaliando a influência da fertilização orgânica na pipoca, os autores não encontraram diâmetros de caule maiores que 17,2 mm.

O comprimento médio e o número de ramos do pendão foram de 42 cm e 18,9 ramos, respectivamente. O comprimento do pendão não teve relação com a cor dos grãos, variando entre populações da mesma cor. No entanto, o número de ramos do pendão foi maior nas populações de coloração de grão preto e, das nove populações deste grupo, seis (2604B, 123B, 2101B, 2526C, 123C e 236B) tinham mais ramos que a média geral. Como o milho tem dominância apical, pendões grandes são indesejáveis, pois drenam fotoassimilados, que podem ir para a espiga e para o grão. Além disso, pendões maiores produzem mais auxinas, que têm um efeito inibitório no desenvolvimento da espiga (Sangoi et al. 2006; Wartha et al. 2016). Esses fatores podem estar associados ao menor peso de mil grãos e ao tamanho das espigas das populações de grãos pretos. No entanto, pendões maiores podem contribuir para uma polinização mais eficiente, pois liberam uma quantidade maior de pólen.

Para a variável prolificidade, a média foi de 1,94 espigas por planta, sendo a moda de 2,0 espigas para a maioria das populações. Duas populações apresentaram moda de 3 espigas por planta, três populações apresentaram moda de 1 espiga e média de 1,2 (2241A), 1,3 (2358A) e 1,4 (977A) espigas. Assim, vale ressaltar que há variabilidade genética intrapopulacional para essa característica, com populações variando de 1 a 4 espigas por planta.

A prolificidade é uma característica comum na pipoca. Porém, em geral, as variedades de milho são melhoradas para produzir uma ou duas espigas no máximo, de forma a otimizar a distribuição dos fotoassimilados, produzindo espigas maiores e maior peso do grão. Em um estudo de Winkler et al. (1998), em ensaio com 15 variedades de pipoca, os autores constataram que o número médio de espigas variou de 0,9 a 1,3, o que significa que alguns materiais possuíam plantas sem espigas (média inferior a 1) e outros, plantas com duas espigas por planta (média acima de 1). A herança relacionada ao número de espigas por planta é poligênica e fortemente influenciada pelo ambiente. Nas condições deste experimento, as

populações 2452A e populações de coloração de grão preta apresentaram média de 2,6 e 2,1 espigas, respectivamente.

Plantas prolíficas tendem a produzir espigas e grãos menores. Neste estudo, a prolificidade foi negativamente correlacionada com o peso de mil grãos. A produtividade e o peso de mil grãos estão negativamente correlacionados com a principal característica de importância na pipoca, a capacidade de expansão (Merlo et al. 1988; Dofing et al. 1991; Daros et al. 2005). Estudando uma variedade prolífica de pipoca, Singh et al. (2016) observaram que características como o peso dos mil grãos e o tamanho das espigas eram muito menores do que outros materiais comerciais. Por outro lado, essa variedade apresentou percentual de expansão superior a 90%. Dessa forma, populações que apresentam maior prolificidade podem contribuir para a obtenção de materiais com produtividade satisfatória e boa capacidade de expansão. Shandu (2012) estudando linhagens puras de pipoca, concluiu que a prolificidade é uma característica promissora para o aumento da produtividade e expansão em programas de melhoramento de pipoca.

Para o índice de circularidade da cariopse, que corresponde ao grau de esfericidade do grão da pipoca, as populações variaram de 0,64 a 0,8, com média de 0,73. Quanto mais próximo de 0,5 for o valor do índice, mais semelhantes são as dimensões dos grãos. As populações com índices mais próximos de 0,5 foram 2138B, 2425A e 977A, com valores de 0,64, 0,66 e 0,67, respectivamente.

A circularidade dos grãos da pipoca pode estar relacionada à capacidade de expansão. Pordesimo et al. (1990), trabalhando com cinco variedades de milho pipoca, encontraram forte correlação entre circularidade e capacidade de expansão ($r = 0,87$), concluindo que grãos pequenos, curtos e largos, com maiores valores de circularidade, apresentaram maiores valores de expansão. No trabalho de Gonçalves et al. (2019), os autores encontraram valores de 0,24 a 0,32 para o caráter de circularidade de três cultivares de milho pipoca, também sendo observada uma correlação positiva entre circularidade e expansão.

Já para o peso de mil grãos, o intervalo foi de 80,9 a 200,4 g, com média de 139,13 g (Tabela 1). Cinco das nove populações que apresentaram coloração de grão preto foram as que obtiveram os menores valores para peso de mil grãos. As populações com menor e maior valor foram 2079A e 2279X com valores de 80,9 e 200,4 g, respectivamente. As populações de grãos brancos foram as que apresentaram maior variação para essa característica, variando de 113,2 a 176,2 g.

Quanto ao peso de mil grãos, as populações apresentaram variação notável. A média geral de 139,13 g foi semelhante à encontrada por Galvão et al. (2000), avaliando 40 híbridos simples e duas cultivares comerciais de milho pipoca, com média de 139 g. Se separarmos as populações pela coloração dos grãos, as populações de grãos amarelos tiveram um peso de mil grãos semelhante (140,1 g) ao estudo de Galvão et al. (2000); entretanto, as populações de grãos pretos ficaram abaixo desse valor (110,4 g) e, as de grãos brancos acima (147,9).

Para a classificação do tamanho dos grãos, de acordo com a classificação americana para os grãos de pipoca (Srdić et al. 2017), medido pelo número de grãos em 10 g, 14 populações tinham grãos grandes (menos de 67 grãos em 10 g) (977A, 2489E, 2138B, 2379A, 1119X, 574A, 1100B, 2312A, 2358A, 2241A, 2393B, 2110A, 2108A e 2279X), 12 populações apresentaram grãos médios (entre 67 e 76 grãos em 10 g) (2152A, 2454A, 2359B, 2091A, 1110A, 2255B, 2305A, 2425A, 2376, 407X, 123C e 2376X) e 15 populações apresentaram grãos pequenos (mais de 76 grãos em 10 g) (2079A, 2526C, 236B, 2101B, 2304A, 229B, 2015A, 2488A, 760A, 2093A, 123B, 778B, 2438D, 2604B e 2423A). A população 2079A foi a que apresentou a maior média de grãos em 10 g (123,6) e a população 2279X foi a que apresentou a menor média (49,9).

Estudando populações de grãos brancos do EOSC, Gonçalves et al. (2019) encontraram valores de altura de planta variando de 1,26 a 1,89 m, AE/AP entre 0,39 e 0,66 e peso de mil grãos entre 119 e 216 g. Por ser realizado em dois ambientes, o estudo acima citado mostra a variabilidade que as populações do EOSC apresentam para características morfológicas. Outro estudo com populações de milho pipoca do EOSC, Seledes et al. (2019) utilizaram populações com diferentes cores de grãos e os resultados observados corroboram com os resultados encontrados neste trabalho, em que as populações de cor branca têm ciclo mais longo e plantas, em média, mais altas. As populações de cor preta apresentaram menores valores para peso de mil grãos e alta prolificidade. Isso também foi observado no presente estudo.

A análise de correlação de Pearson mostrou correlação moderada (0,67) entre o acúmulo de graus dia até o pendoamento e a altura das plantas (Tabela 2). Houve correlação positiva entre o peso de mil grãos e o diâmetro da espiga (0,65), indicando que espigas com diâmetro maior tiveram peso maior de mil grãos. Também houve correlação negativa moderada entre diâmetro da espiga e prolificidade (-0,44), sugerindo que quanto mais prolífica a população, menor o diâmetro da espiga principal. As variáveis quantitativas que

apresentaram correlação significativa na análise de correlação de Pearson são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Correlação entre acúmulo de graus dia para pendoamento (AGD), peso de mil grãos (PMG) e prolificidade (PROL) entre si e outras nove variáveis avaliadas em populações de pipoca coletadas no extremo oeste catarinense

Variável	AGD		PMG		PROL	
	COR ¹	<i>p</i> (uncorr) ²	COR	<i>p</i> (uncorr)	COR	<i>p</i> (uncorr)
AP	0.67	1.55E-06*	0.19	0.21	-0.20	0.20
EP/AP	0.70	3.13E-07*	0.071	0.65	-0.10	0.51
RP	0.059	0.71	-0.23	0.13	0.20	0.19
DC	0.28	0.066	-0.05	0.71	0.07	0.66
CE	0.21	0.17	0.51	5.96E-04*	-0.08	0.60
DE	0.18	0.23	0.65	3.87E-06*	-0.44	0.003*
GF	-0.25	0.10	-0.28	0.066	0.11	0.48
NF	-0.12	0.44	0.07	0.63	-0.07	0.62
IC	0.031	0.84	-0.25	0.10	0.17	0.28
AGD	-	-	0.076	0.63	-0.22	0.16
PMG	0.076	0.63	-	-	-0.17	0.26
PROL	-0.22	0.16	-0.17	0.26	-	-

¹ correlação de Pearson; ² Significância da correlação de Pearson; AP - Altura da planta; AE/AP – Índice Altura da espiga/Altura da planta; RP - ramos do pendão; DC - Diâmetro do colmo; CE - comprimento da espiga; DE - diâmetro da espiga; GF - grãos por fileira; NF - Número de fileiras; IC - índice de circularidade da cariopse; PMG - Peso de mil grãos; PROL - Prolificidade; AGD – Acúmulo de graus dia. *Correlação significativa a 5%.

6.2 FENOLOGIA

Os dados climatológicos do local durante a execução do experimento são apresentados na Tabela 3. Foi possível observar que as temperaturas médias máximas e mínimas durante o desenvolvimento da cultura apresentaram pouca variação e estão dentro da média para o local. No entanto, as chuvas foram mal distribuídas. Enquanto em janeiro choveu acima da média, em fevereiro a precipitação foi muito inferior à média para o local.

Tabela 3 - Dados climatológicos durante o desenvolvimento da cultura. Florianópolis - Santa Catarina – Brasil

	Max. Temp. Média °C	Min. Temp. Média °C	Precipitação (mm)
nov/2017	25.27	18.19	142.1
dez/2017	26.7	20.98	167.6
jan/2018	28.6	21.6	489.2
fev/2018	28	20.8	68.6
mar/2018	27.8	21.4	183.9

No Brasil, para a classificação das cultivares de milho segundo o ciclo, em graus-dia acumulados (AGD) até o pendoamento, são definidas variedades hiperprecoces aquelas com acúmulo inferior a 790 GD; precoce > 790 e <830 GD; intermediários > 830 e <889 GD, e tardio > 890 GD (Ritchie et al. 2003). O ciclo fenológico das populações deste estudo está ordenado de acordo com essa classificação na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das populações locais de pipoca do extremo oeste catarinense em relação aos graus-dia acumulados (DDA) da emergência ao pendoamento

Ciclo	Populações
hiperprecoces	2255B, 1119X, 1110A, 760A, 2438D, 2359B, 2425A, 2489E, 2138B
precoces	2423A, 2604B, 2152A
Intermediate	2488A
Late	123B, 2101B, 2093A, 2304A, 2358A, 2393B, 778B, 2376, 229B, 1100B, 2312A, 2108A, 2279X, 2454A, 2079A, 2091A, 2526C, 123C, 2376X, 2379A, 2015A, 2110A, 574A, 236B, 407X, 2241A, 977A, 2305A

A maioria das populações que apresentavam grãos amarelos apresentaram AGD até o pendoamento inferior a 800 (2255B, 1119X, 1110A, 760A, 2438D, 2359B, 2425A e 2138B), exceto a população 2152A, que teve um acúmulo de 828,25 GD. Entre as populações de grãos pretos, houve maior variação, com acúmulo mínimo de 825,1 GD (2604B) e máximo de 1.030,8 GD (236B). Entre as populações com coloração de grão branco, apenas uma população teve um acúmulo inferior a 900 GD (2488A) até o pendoamento, e a maior com um acúmulo de 1.090,57 (2305A). A população 2279X de cor vermelha e maior peso de mil

grãos acumulou 961,37 DDA até o pendoamento. A população de cor vermelha 2489E acumulou 760,56 GD e a população de cor laranja 2423A acumulou 822,12 GD.

Houve grande variação entre as populações, principalmente entre as populações de coloração de grãos preta. Por outro lado, as populações com características de grãos mais próximas dos materiais comerciais (plantas mais baixas, ciclo precoce e grãos amarelos e redondos), todas precisaram acumular menos de 770 GD para o pendoamento. No trabalho de Barbano et al. (2003), avaliando três cultivares comerciais de milho pipoca, os autores constataram que todos os materiais acumulavam, em média, menos de 800 GD para o pendoamento. Seledes et al. (2019) observaram que as populações do EOSC com grãos brancos apresentaram maiores valores de AGD para pendoamento (até 1007 GD).

Olakojo et al. (2019), trabalhando com dezenove linhas de milho pipoca e uma cultivar comercial, contando em dias o subperíodo entre a emergência e o pendoamento, constatou que os materiais variaram entre 54 e 66 dias, com média de 58,7. As populações neste estudo variaram de 52 a 77 dias, com a menor média (55,11 dias) sendo encontrada para as populações de cor amarela e a maior média (73,65 dias) para as populações de cor branca.

As populações hiperprecoces apresentaram média de 54,7 dias; o início de 59,3; o intermediário de 64; e os tardios variaram entre 64 e 77 dias, com média de 69,6 dias. Até a maturidade fisiológica em dias após a emergência, as populações hiperprecoces levaram em média 106,6 dias para completar o ciclo, início 113 dias, intermediário 122 dias e tardio variou de 122 a 138 dias. O meio período para alcançar o pendoamento resulta em plantas mais altas, como foi observado nas populações de coloração branca.

Kizilgeci et al. (2018) encontraram uma variação igual à encontrada neste estudo, ao avaliar 125 populações locais de milho, havendo uma diferença entre a variedade mais precoce (39,5 dias) e a mais tardia (64,5) de 25 dias. Vários estudos mostram que o ciclo em dias varia dependendo do genótipo e das condições ambientais (Idikut e Kara, 2011; Kizilgeci et al. 2018). Assim, a forma mais precisa de avaliar o ciclo fenológico é por meio do método de acumulação térmica ou graus-dia.

Embora a atual classificação brasileira em relação ao ciclo de cultivares seja adequada para materiais melhorados, ela não permite a classificação adequada de materiais com grande diversidade. Assim, a partir dos dados obtidos neste trabalho, como classificação das raças locais em graus-dia desde a emergência até o pendoamento, sugere-se a seguinte escala: <800 AGD precoce; > 800 e <900 intermediários e > 900 tardios.

6.3 ANÁLISE DA DIVERSIDADE

Para a análise de agrupamento, foram utilizadas todas as variáveis quantitativas relacionadas à planta e ao ciclo fenológico (até o pendoamento). Para as características da espiga e do grão foram utilizados a cor do grão, cor do endosperma, cor do sabugo, diâmetro da espiga, número de fileiras por espiga, peso de mil grãos e índice de circularidade da cariopse. Portanto, foram utilizadas 18 características de planta, espiga e grãos no total.

Foi possível observar que a maioria das populações se agrupou principalmente em relação à cor dos grãos e ciclo (Figura 2). Porém, a população 2358A, apesar de apresentar grãos brancos, foi isolada do ponto de corte por apresentar diâmetro de espiga (42,5 mm) maior que a média das demais populações brancas (33,5 mm). A população 2152A, apesar de apresentar grão de cor amarela, apresenta ciclo mais longo e grão pontiagudo, o que a diferencia das demais populações amarelas. A população 2279X, por ter um ciclo mais longo que a outra população de grão vermelho e peso de mil grãos maior que as outras populações, também ficou isolada. A população 2423A foi isolada na análise de agrupamento por causa de seu grão alaranjado e sabugo vermelho. Além disso, apresentou uma média de 18 fileiras de grãos por espiga, superior às demais populações. A população 2489E apresentou características de planta, espiga e grão semelhantes às populações de cor amarela; porém, por ter ciclo mais longo e coloração vermelha dos grãos e sabugo, foi isolado no agrupamento. Um resumo dos grupos morfológicos é mostrado na Tabela 5.

Figura 2 - Agrupamento das populações de pipoca conservadas no EOSC, gerado a partir do índice de similaridade de Gower e do algoritmo UPGMA. Correlação cofenética = 0,84. I: Populações de grãos pretos; II: Populações de grãos brancos; III: Populações de grãos amarelos

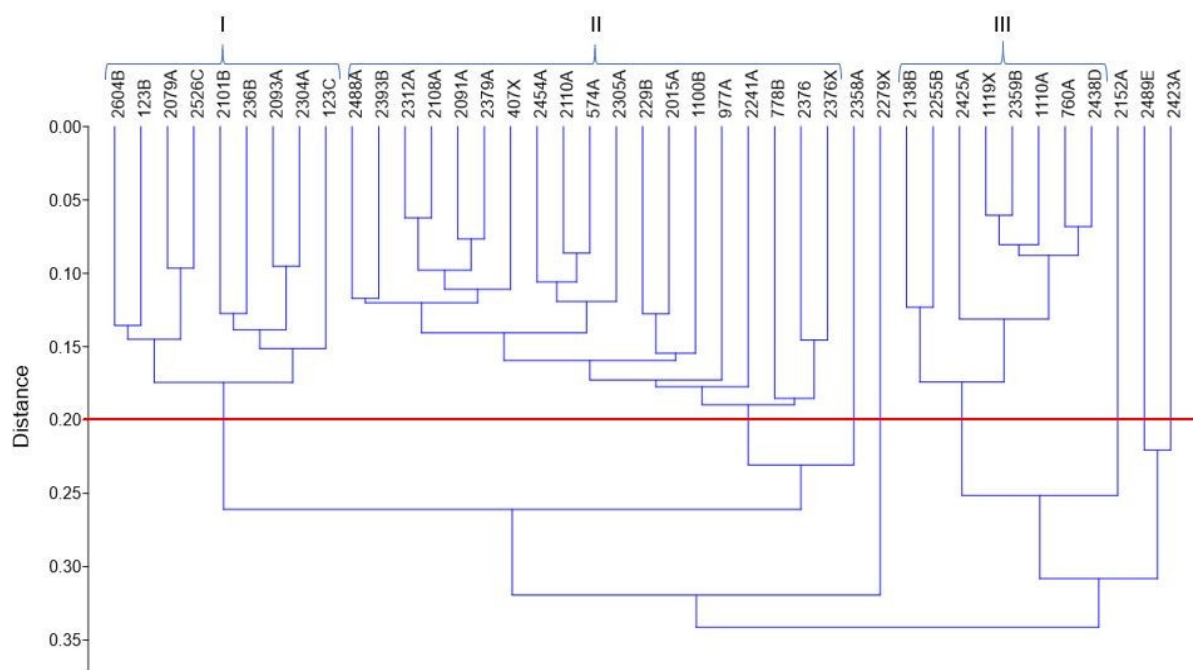


Tabela 5 - Grupos morfológicos com base nas características da planta, espiga, grão e ciclo e suas respectivas populações de pipoca do EOSC

GM	CG	AP	DE	NF	PRO	AGD	PMG	N	Pop.
(I)	Preto	2.52	26.7	14	2.1	931.5	110.4	9	
		2.13	27.2	14	2.2	825.1	129.4		2604B,
		2.58	28.1	14	1.7	894.2	124.4		123B,
		2.45	27.3	14	1.8	968.5	80.9		2079A,
		2.26	24.1	14	1.9	978.1	87.0		2526C,
		3.17	28.6	14	1.8	895.7	102.0		2101B,
		2.78	26.1	12	2.2	1030.8	90.9		236B,
		2.73	28.5	14	2.3	900	123.7		2093A,
		2.28	27.8	14	2.1	911.3	106.7		2304A,
		2.35	23.3	14	2.6	978.7	145.3		123C
(II)	Branco	2.74	33.5	14	1.8	986.8	147.9	19	
		2.46	29.6	14	2	874.4	120.5		2488A,
		2.61	30.5	14	1.9	973.7	138.4		2091A,
		2.46	32.7	16	2.2	941.8	113.2		229B,
		2.71	32.6	14	2.2	932.6	173.0		2393B,

		2.70	33.1	12	1.8	950.4	162.5		2312A,
		2.68	32.7	14	2	954.3	176.2		2108A,
		2.81	31.1	14	2.1	998.2	153.0		2379A,
		3.22	34.2	14	1.8	1048.0	144.6		407X,
		2.72	35.8	16	1.9	943.1	162.3		1100B,
		2.94	36.8	16	2.1	939.3	142.5		2376,
		2.75	35.8	16	2.1	996.8	147.3		2376X,
		3.08	33.2	16	1.6	1005.6	119.0		2015A,
		3.05	34.2	14	2	1007.5	173.0		2110A,
		2.77	32.7	14	1.7	1090.5	142.1		2305A,
		2.65	31.1	16	1.4	1083.1	149.8		977A,
		2.65	33.2	14	2.1	963.8	136.7		2454A,
		2.65	34.4	14	1.9	1030.5	160.8		574A,
		2.86	38.4	14	1.2	1079.0	171.8		2241A,
		2.59	35.4	14	1.9	936.2	124.6		778B
	Branco	3.17	42.5	16	1.3	917.81	163.5	1	2358A
	Vermelho	2.96	38.4	14	1.9	961.37	200.4	1	2279X
(III)	Amarelo	2.08	30.9	14	1.9	732.5	140.1	8	
		1.86	33.8	16	1.8	762.6	152.9		2138B,
		2.12	31.2	16	2.1	689.0	141.9		2255B,
		1.80	32.2	14	2	741.4	142.5		2425A,
		2.22	31.3	14	1.8	728.8	159.6		1119X,
		2.27	29.5	14	2	740.2	137.8		2359B,
		1.93	30.5	14	1.8	730.9	139.6		1110A,
		2.17	28.7	14	2	731.7	121.9		760A,
		2.30	30.2	14	2	735.4	125.0		2438D
	Amarelo	2.90	32.8	16	2.6	828.25	134.6	1	2152A
	Vermelho	2.36	38.4	14	1.9	760.56	152.3	1	2489E
	Alaranjado	2.71	33	18	1.9	822.12	131	1	2423A

GM Grupo morfológico; CG Cor do grão; AP Altura da planta (m); DE Diâmetro da espiga (média) (mm); NF Número de fileiras (moda); PROL Prolificidade (média); AGD Acúmulo de graus dia (média); PMG Peso de mil grãos (média) (g); N Número de populações. Os números em negrito representam a média do grupo

O Grupo I contempla nove populações (2604B, 123B, 2079A, 2526C, 2101B, 236B, 2093A, 2304A e 123C), todas com coloração de grão preto, grãos arredondados e peso médio de mil grãos inferior às outras populações. São mais prolíficos, em média, têm menor diâmetro de espiga e maior número de ramos no pendão. Porém, apresentam grande amplitude em relação ao ciclo, variando de 825,1 a 1.030,8 AGD até o pendoamento.

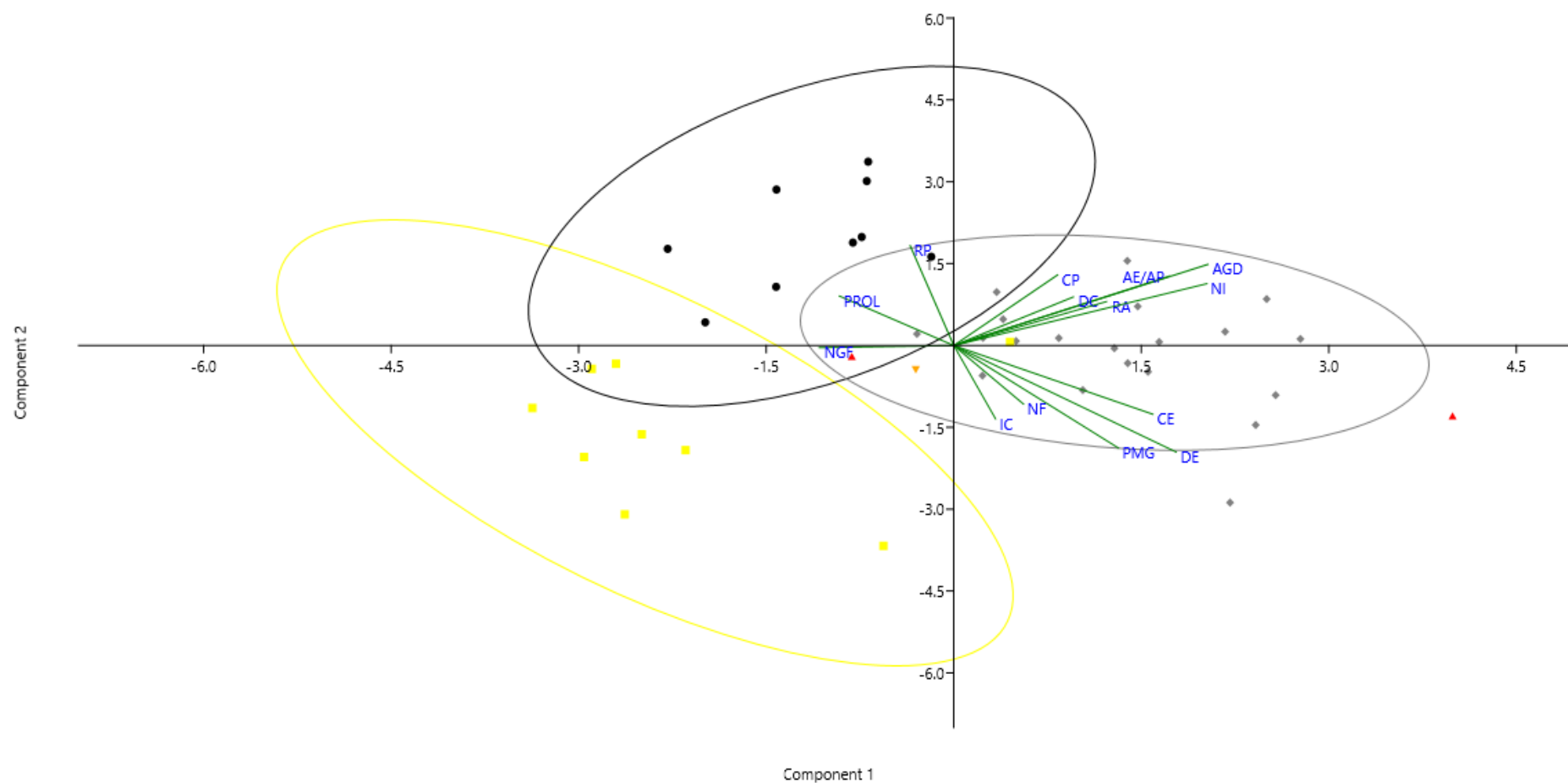
Grupo II consiste em 19 populações (2488A, 2091A, 229B, 2393B, 2312A, 2108A, 2379A, 407X, 1100B, 2376, 2376X, 2015A, 2110A, 2305A, 977A, 2454A, 574A, 2241A, 778B) e todas têm a cor branca grãos e predominantemente com formato pontiagudo. Porém, é o grupo que apresenta maior diversidade para características morfológicas das plantas, com altura de planta variando de 2,46 a 3,22 metros, AGD variando de 874,4 a 1090,5 e diâmetro do colmo de 13,39 a 17,34 mm. Exceto para a população 2488A, todas as outras populações neste grupo precisaram acumular mais de 900 GD para atingir o pendoamento; e também é o grupo com os maiores valores de AE/AP.

O grupo III é formado por oito populações (2138B, 2255B, 2423A, 1119X, 2359B, 1110A, 760A e 2438D) e todas possuem grãos amarelos e redondos. Este grupo é caracterizado por populações precoces para o pendoamento (<770 ADD). Além disso, apresentam menor índice AE/AP e menores valores de altura de planta.

A representação dos dois primeiros componentes principais (CP) (Figura 3) extraídos da análise de 15 variáveis quantitativas mostra um agrupamento semelhante ao encontrado na análise de agrupamento. CP 1, 2 e 3 explicam 53% da variação fenotípica. O primeiro CP explica 23,5% da variação total. Nesse eixo, a variável com maior peso foi o AGD, seguido do número de entrenós (NE) e do diâmetro da espiga. O segundo CP explica cerca de 17,5% da variação total e as variáveis explicativas para este eixo foram ramificações do pendão e peso de mil grãos. O terceiro CP responde por 11,5% de toda a variação, e as variáveis explicativas foram o comprimento do pendão e o índice de circularidade da cariopse. Esta representação da variação pode ser observada a partir da análise de agrupamento, uma vez que a característica com maior peso no CP 1 foi AGD até o pendoamento, as populações do ciclo precoce foram agrupadas e, como compartilham a mesma cor de grão (cor amarela), os efeitos combinados dessas características resultaram no padrão observado no cluster. A mesma lógica para as populações com grão de cor branca, por apresentarem ciclo mais longo. As populações de grãos de cor preta apresentaram tendência intermediária/tardia no ciclo. Das dez populações de cor preta, apenas uma acumulou mais de 1.000 graus para o pendoamento e

três precisaram de menos de 900, enquanto entre as populações brancas, sete precisaram de mais 1.000 graus para o pendão e apenas uma precisou de menos de 90

Figura 3 - Representação dos dois primeiros componentes que explicam 39,9% da variação total, extraídos de 14 variáveis morfológicas e fenológicas quantitativas de 41 populações de milho pipoca conservadas no EOSC. ● Representam populações de grãos pretos; ■ amarelo; ◆ Branco; ▲ Vermelho; ▼ Laranja



6.4 PERSPECTIVAS PARA O ESTUDO DE RAÇAS E MELHORAMENTO

Embora a classificação das raças no milho seja feita basicamente por características de espiga e grão, a inclusão de características de plantas pode ser importante, uma vez que grupos de plantas de mesma cor e formato de grãos, originários de uma mesma região geográfica, podem ter algumas características morfológicas de plantas semelhantes. Para programas de melhoramento genético, essas informações podem ajudar na identificação de grupos heteróticos, gerar novas populações-base e ampliar sua base genética. Para a conservação *ex situ*, essas informações são importantes para avaliar a diversidade das espécies em bancos de genes e a diversidade entre populações com características de grãos semelhantes, ajudando assim na elaboração da melhor estratégia de conservação e uso do germoplasma. Normalmente, as coletas de germoplasma priorizam eixos geográficos e, em casos de microrregiões, como o EOSC, a forma usual de coleta pode não representar a verdadeira variabilidade presente naquela área. Assim, conforme demonstrado por Vidal et al. (2018), a diversidade morfológica conservada *on farm* além das informações etnobotânicas são fundamentais para estratégias eficazes de coleta de germoplasma.

Ao comparar o agrupamento do presente estudo com o das raças de pipoca de Silva et al. (2016), que avaliou 70 populações locais de pipoca do EOSC (incluindo as populações deste estudo), é possível notar uma semelhança entre os dois, embora a atual classificação das raças no milho seja baseada apenas nas características da espiga e do grão. Por exemplo, dezenove das vinte populações do Grupo II deste estudo estão agrupadas dentro da mesma raça/grupo no estudo de Silva et al. (2016). Por outro lado, algumas diferenças com relação ao agrupamento também ocorreram devido ao acréscimo de características das plantas. Raça III do estudo de Silva et al. (2016), por exemplo, foi composta pelas populações dos Grupos I e III do presente estudo; as populações 2423A e 2489E, que antes eram agrupadas usando apenas características de espiga e grãos, agora aparecem como populações isoladas quando as características da planta foram adicionadas, mostrando a relevância de se considerar as características da planta para estudos de raça de milho.

Correlações diretas de características quantitativas das plantas com atributos qualitativos, como cor dos grãos, não são possíveis, uma vez que a correlação de Pearson entre dois caracteres é uma análise exclusivamente quantitativa; no entanto, podem existir correlações indiretas. No presente estudo, por exemplo, observou-se que sete das dez plantas mais altas pertencentes ao Grupo II, que são plantas com grãos de cor branca, também são as

plantas mais tardias para o pendramento. A tendência se inverte para as populações do Grupo III, de cor amarela, com as plantas mais baixas e com menos graus-dia acumulados.

Além da diversidade observada entre os grupos, a diversidade dentro dos grupos também é especialmente importante para o cultivo de pipoca.

Em estudos anteriores de Amaral Junior et al. (2011) e Silva et al. (2015) com cultivares de pipoca recomendadas pelo país, os autores mostraram a urgência de aumentar a diversidade genética dos programas de melhoramento de pipoca de instituições públicas e privadas, uma vez que a diversidade genética das cultivares recomendadas no Brasil é muito estreita. Essa diversidade dentro dos grupos pode ser observada no intervalo de valores obtidos para algumas características, como a variação do AGD para o pendramento de 874 a 1090,5 para o Grupo II e a altura das plantas do Grupo I que variou de 2,13 a 3,17 m. Assim, o ciclo e algumas características da planta podem ter relação com os atributos do grão e da espiga, mas a diversidade observada para essas características deve ser considerada, sendo relevante para a conservação e melhoramento.

Em um estudo mais recente, Silva et al. (2020), avaliando a diversidade genética de 66 populações de pipoca do EOSC com marcadores de polimorfismo de nucleotídeo único (SNPs), mostrou que as populações com cor e forma de grão semelhantes foram agrupadas pelos marcadores genéticos. Ainda, o estudo de Amaral Júnior et al. (2011), também foi esclarecedor ao caracterizar a diversidade da pipoca de cor branca em comparação a outros tipos de milho por meio de marcadores de inter-simple sequence repeat (ISSR). Os autores observaram a formação de um grupo composto exclusivamente por pipoca com grãos de cor branca indicando a possibilidade de formação de grupos heteróticos a partir da cor dos grãos. Assim, ambos os estudos utilizando marcadores genéticos corroboram com os resultados obtidos neste estudo utilizando características fenotípicas, uma vez que os grupos foram formados a partir da aparência semelhante dos grãos em cada caso. Além disso, esses trabalhos são boas evidências para afirmar que populações de milho pipoca com cor e formato de grão semelhantes podem ser indicativas da formação de grupos heteróticos.

Dessa forma, além do estudo das raças, as informações encontradas no presente estudo também são importantes para os programas de melhoramento da pipoca, servindo de subsídio para estudos futuros, tanto para a avaliação do potencial genético de híbridos intervarietais, quanto para a formação de populações compostas, entre e dentro dos grupos.

No melhoramento genético do milho, por exemplo, é comum avaliar cruzamentos de materiais de diferentes grupos, como na formação de dialélicos, para desenvolver populações

melhoradas. Esquemas de cruzamentos dialélicos podem ser obtidos tanto de linhagens puras quanto de variedades com ampla base genética, sendo possível inferir sobre os tipos de ação gênica existentes, a ação dos genes envolvidos em caracteres importantes, bem como o potencial heterótico e capacidades gerais e específicas de combinação de genótipos (Hallauer et al. 2010). Nesse sentido, a análise dialélica pode auxiliar na verificação dos componentes de heterose entre os grupos a partir de um processo facilitado de identificação do grupo e, consequentemente, contribuir para o aumento significativo da produtividade da cultura.

Os resultados deste estudo mostraram que as populações de milho pipoca com a mesma cor e forma de grão possuem algumas características da planta que foram mais proeminentes naquele grupo. Se um grupo heterótico é composto por um conjunto de genótipos com importante herança genética, apresentando tendência de similaridade para a maioria das características morfológicas da cultura, então os grupos heteróticos na pipoca podem ser indiretamente definidos pela cor e forma do grão.

Considerando a variabilidade entre as populações de um mesmo grupo, uma possível forma de melhoramento da pipoca é a formação de populações compostas a partir do cruzamento entre populações locais de um mesmo grupo. Tal estratégia permite o aprimoramento de características importantes ao mesmo tempo em que garante a conservação da variabilidade, formando e ampliando a base genética de novos compostos. Este é um aspecto significativo, visto que há estudos que mostram a estreita diversidade genética das cultivares de milho-pipoca brasileiras e a importância da formação de compostos para melhorar as características de interesse, a partir da seleção dentro de populações.

Por fim, a formação de populações compostas também pode contribuir para o aprimoramento de estratégias de conservação em bancos de germoplasma de forma a manter a variabilidade populacional com perfis semelhantes de atributos morfológicos de grãos, espigas e plantas, otimizando o espaço dedicado à conservação e posterior aproveitamento dessa diversidade para programas de melhoramento.

7 CONCLUSÕES

Há uma diversidade significativa em termos de características de plantas e ciclo fenológico para as populações locais de milho pipoca do EOSC, mesmo dentro de populações no mesmo grupo morfológico. As populações com cores de grãos semelhantes foram agrupadas, mesmo quando as características expressas na planta são incluídas na análise. Tendências em algumas características das plantas foram observadas dentro de grupos de

mesma cor de grão, indicando uma possível relação da cor do grão com grupos heteróticos na pipoca. Isso pode contribuir para aprimorar os programas de melhoramento genético da pipoca no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABDI, H., WILLIAMS, L. J. Principal Component Analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews**, v. 2, p. 1-47. 2010.
- ALMEIDA, D. J., SILVA, I. F., SOUZA, R. F., et al. Influência da adubação orgânica e densidade de plantio na produção do milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 20, p. 17–21. 2015.
- AMARAL JÚNIOR AT, DE OLIVEIRA EC, GONÇALVES LSA, SCAPIM CA, et al. Assessment of genetic diversity among maize accessions using inter simple sequence repeats (ISSR) markers. **African Journal of Biotechnology**, v.10, p.15462-15469. 2011
- ANDERSON, E., CUTLER, H. C. Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.29, p.69–88. 1942.
- BARBANO, M. T., SAWAZAKI, E., BRUNINI, O., BOLLER, P. Base temperature and accumulated growing degree days for popcorn maize cultivars (*Zea mays* L.) for the sub-period sowing- flowering phase. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.11, p.79–84. 2003.
- BORRAS, F., SEETHARAMAN, K., NI, YAO., et al. Relationship between popcorn composition and expansion volume and discrimination of corn types by using zein properties. **Cereal Chemistry**, v.83, p.86–92. 2006.
- BRASIL. **Descritores mínimos do Milho (*Zea mays* L.)** Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. P. 1-10. 1997.
- CASLER, M. D. Fundamentals of Experimental Design: Guidelines for Designing Successful Experiments. **Agronomy Journal**, v.107, p.692-705. 2014.
- COSTA, F. M., SILVA, N. C. A., OGLIARI, J. B. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.64, p.681–700. 2016.
- DAR, T. H., SHAKEEL, R., VERMA, S. Comparative Germplasm Characterization of Maize (*Zea mays* L.) in Rajouri Region of Pir Panjal Himalaya J & K (India), based on Morphological and ISSR Markers. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.21, p.43-55, 2018.
- DAROS, M., AMARAL JÚNIOR, A. T., PEREIRA, M. G., et al. Correlações entre caracteres agronômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho-pipoca. **Ciência Rural**, v.34, p.1389–1394, 2005.

- DOFING, S. M., D'CROZ-MASON, N., COMPTON, M. A. T. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent corn crosses. **Crop Science**, v.31, p.715-718, 1991
- GALVÃO, J. C. C., SAWAZAKI, E., MIRANDA, G. V. Comportamento de Híbridos de Milho-Pipoca em Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.47, p.201-218, 2000.
- GONÇALVES, G. M. B., MAYER, L. B., SOUZA, R., OGLIARI, J. B. Yield and popping expansion components in local popcorn varieties from Southern Brazil. **Acta Agronômica**, v.68, p.213-221, 2019.
- GOODMAN, M. M., PATERNIANI, E. The races of maize: III. Choices of appropriate characters for racial classification. **Economic Botany**, v.23, p.265-273, 1969.
- GORJANC, G., JENKO, J., HEARNE, S. J., HICKEY, J. M. Initiating maize pre-breeding programs using genomic selection to harness polygenic variation from landrace populations. **BMC Genomics**, v.30, p.1-15, 2016.
- GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, v.27, p.857-874, 1971.
- HALLAUER, A. R., CARENA, M. J., MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. Originally published by Iowa State University Press, 1988 3rd ed. XVI, 664p. 2010.
- HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v.4(1), p.1-9, 2001.
- IDIKUT, L., KARA, S. N. The effects of previous plants and nitrogen rates on second crop corn. In Turkish. **Journal of Field Crops**, v.16, p.239-244, 2011.
- IPGRI. **Descriptors for maize/descriptores para maiz/descripteurs pour le maïs**. International. Board for Plant Genetic Resources, Rome. 2000.
- KIST, B. B. **Annual maize book 2018**. Editora Gazeta, Santa Cruz do Sul, 88p.
- KIZILGECI, F., YILDIRIM, M., ALBAYRAK, O., BICER, B. T. Evaluation of Turkish maize landraces through observing their yield and agro-morphological traits for genetic improvement of new maize cultivars. **Acta Fytotechnica et Zootechnica**, v.21, p.31-43, 2018.
- LEE, M. DNA markers and plant breeding programs. **Advances in Agronomy**, v.55, p. 265-344, 1995.
- MERLO, E., FORNASIERI, F. D., LAM-SÁNCHEZ, A. Avaliação de sete cultivares de milho pipoca (*Zea mays*, L.) em três densidades de semeadura. **Científica**, v.16, p.245-251, 1988.

MIRANDA, G. V., COIMBRA, R. R., GODOY, C. L., SOUZA, L. V., GUIMARÃES, L. J. M., MELO, A. V. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.681–688, 2003.

MUNHOZ, R. E. F., PRIORI, A. J., AMARAL JÚNIOR, A. T., SCAPIM, C. A., SIMON, G. A. Genetic distances among popcorn populations based on molecular marker and the correlations with the heterosis estimates on the hybrids made by diallel analysis. **Genetics and Molecular Research**, v.8, p.321-328, 2009.

NASS, L. L., PATERNIANI, E. Pre-Breeding: A link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, v.57, p.581-587, 2000.

NOBRE, R. G., LIBERALINO FILHO, J., PRAÇA, E. F., et al (2000) Avaliação da qualidade de diferentes marcas comerciais de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.133–135, 2000.

OLAKOJO, O., OLAOYE, G., AKINTUNDE, A. Performance of popcorn introductions for agronomic characters, grain yield and popping qualities in the forest and derived savannah agro-ecologies of Nigeria. **Acta Agriculturae Slovenica**, v.114, p.53-60, 2019.

ONER, F., GULUMSER, A. Determination of Some Agronomical Characteristics of Local Flint Corn (*Zea mays* L. *indurata*) Genotypes in The Black Sea Region of Turkey. **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri**, v.7, p.1800–1804, 2014.

PARAGINSKI, R. T., SOUZA, N. L., ALVES, G. H., ZIEGLER, V., OLIVEIRA, M., ELIAS, M. C. Sensory and nutritional envaluation of popcorn kernels with yellow, white and red pericarps expanded in different ways. **Journal of Cereal Science**, v.69, p.383-391, 2016.

PATERNIANI, E., NASS, E., SANTOS, M. X. **O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil – uma abordagem histórica da utilização do germoplasma**. In: UDRY, C. V., DUARTE, W. (ed) Uma história brasileira do milho – o valor dos recursos genéticos. Paralelo 15, Brasília, pp 11- 42. 2000.

PAULA, T. O. M., GONÇALVES, L. S. A., AMARAL JÚNIOR, A. T., et al. Magnitude of the genetic base of commercial popcorn and in recommendation in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.289–297, 2010.

PORDESIMO, L. O., ANANTHESWARAN, R. C., FLEISCHMANN, A. M., et al. Physical Properties as Indicators of Popping Characteristics of Microwave Popcorn. **Journal of Food Science**, v.55, p.1352–1355, 1990.

RITCHIE, S. W., HANWAY, J. J., BENSON, G. O. Como a Planta De Milho se Desenvolve. Potafos: **Informações Agronômicas** nº103, v.80, p.1–20, 2003.

SANGOI, L., GUIDOLIN, A. F., COIMBRA, J. L. M., SILVA, P. R. F. Response of maize hybrids grown at different eras to plant population and tassel removal. **Ciência. Rural**, v.36, p. 1367-1373, 2006.

SAWAZAKI, E. **Milho pipoca**. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo. http://www.abms.org.br/eventos_anteriores/cnms2010/palestras/010.pdf. 2010. Accessed 17 april 2019.

SBCS. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** (ROLAS). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo -Núcleo Regional Sul, Porto Alegre, Brasil. 2004.

SCAPIM, C. A., PACHECO, C. A. P., TONEI, A., BRACCINI, A. L., PINTO, R. J. B. Análise Dialética e Heterose de populações de milho pipoca. **Bragantia**, v.61, p.219-230, 2002.

SELEDES, R. M., OGLIARI, J. B., MELHORANÇA, E. A. L., SOUZA, R., OLIVEIRA, W. B. S. Caracterização fenotípica de milho-pipoca conservado in situ-on farm no Extremo Oeste de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v.32, p.56-61, 2019.

SHANDU, S. **Genetic Diversity, Correlations and Path Coefficient Analysis in Popcorn (*Zea mays* L. everta)**. Dissertação, University of KwaZulu-Natal, South Africa. 150 p. 2012.

SILVA, N. C. A., VIDAL, R., OGLIARI, J. B. New popcorn races in a diversity microcenter of *Zea mays* L. in the Far West of Santa Catarina, Southern Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.64, p.1191–1204, 2016.

SILVA, N. C. A., VIDAL, R., OGLIARI, J. B., COSTICH, D. E., CHEN, J. (2020) Relationships among American popcorn and their links with landraces conserved in a microcenter of diversity. **Genetic Resources Crop Evolution**, v.67, p.1733 – 1753. 2020.

SILVA, T. A., CANTAGALLI, L. B., SAAVEDRA, J., LOPES, A. D., MANGOLIN, C. A., MACHADO, M. F. P. S., SCAPIM, C. A. Population structure and genetic diversity of Brazilian popcorn germplasm inferred by microsatellite markers. **Electronic Journal of Biotechnology**, v.18, p.181-187, 2015.

SINGH, A., SINGH, S. B., DUTTA, S. K, et al. Multi cob-bearing popcorn (Puakzo) maize: A unique landrace of Mizoram, North East, India. **Current Science**, v.110, p.1392–1393, 2016.

SRDIĆ, J., MILAŠINOVIĆ, Š. M., RADOSAVLJEVIĆ, M., et al. Evaluation of agronomic and sensory characteristics of the popcorn kernel. **Journal on Processing and Energy in Agriculture**, v.21, p.185–187, 2017.

VENDRUSCOLO, E. C. G., SCAPIM, C. A., PACHECO, C. A. P., OLIVEIRA, V. R., BRACCINI, A. L., VIDIGAL, M. C. G. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho-pipoca na região centro-sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.123-130, 2000.

VIDAL, A. R. **Diversidade das populações locais de milho de Anchieta e Guaraciaba, Oeste de Santa Catarina: múltiplas abordagens para sua compreensão**. Tese, Universidade Federal de Santa Catarina, 188p. 2016.

VIDAL, A. R., SILVA, N. C. A., OGLIARI, J. B. Old tools as new support for on farm conservation of different types of maize. **Scientia Agricola**, v.77, p.1-9, 2018.

VILARÓ, M., VIDAL, R., ABADIE, T. Diversity of Maize Landraces in Germplasm Collections from South America. **Agrociencia**, v.77, p.1-11, 2020.

VITTORAZZI, C., AMARAL JÚNIOR, A. T., GUIMARÃES, A. G., SILVA, F. H. L., PENA, G. F., DAHER, R. F., GERHARDT, I. F. S., OLIVEIRA, G. H. F., SANTOS, P. H. A. D., SOUZA, Y. P., KAMPHORST, S. H., LIMA, V. J. Evaluation of genetic variability to form heterotic groups in popcorn. **Genetics and Molecular Research**, v.17, p. 1-17, 2018.

WARTHA, C. A., CARGNELUTTI FILHO, A., LÚCIO, A. D. Sample sizes to estimate mean values for tassel traits in maize genotypes. **Genetics and Molecular Research**, v.15, p. 1-13, 2016.

WINKLER, E. I. G., FERREIRA, F. I., IORKZESKI, E., PEREIRA, L. R. Avaliação de Cultivares de Milho Pipoca em Passo Fundo e Pelotas 1997/98. **Agropecuária de Clima Temperado**, v.2, p.281-288, 1998.

ZINSKY, J. R., MACHADO, J. A. **Milho-pipoca**. In: Melhoramento e produção de milho no Brasil. Piracicaba, ESALQ: Fundação Cargill. 339 pp, 1978.

ZSUBORI, Z., GYENES-HEGYI, Z., ILLÉS, O., PÓK, I., RÁCZ, F., SZÖKE, C. Inheritance of Plant and Ear Height in Maize (*Zea Mays* L.). **Acta Agraria Debreceniensis**, v.8, p.34–38, 2002.

CAPÍTULO 2

POTENCIAL AGRONÔMICO DE POPULAÇÕES LOCAIS DE MILHO PIPOCA DO EXTREMO OESTE DE SANTA CATARINA EM DUAS ALTITUDES

RESUMO. O ambiente influencia as características de interesse agrônomo nas culturas, sendo importante a sua avaliação para entender o comportamento das populações nos diferentes locais de cultivo. Com base nisso, o presente estudo teve por objetivo avaliar onze populações locais do extremo oeste de Santa Catarina (EOSC) para o potencial agrônomo, em duas altitudes (410 e 745m) do município de Anchieta – SC. Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições e parcelas de 2,4 m² de área útil. A altura média de planta variou de 1,29 a 2,09 m, no local mais alto, e de 1,36 a 2,08 m, no local mais baixo, sendo o efeito do ambiente significativo para essa característica. Para diâmetro de colmo, os valores variaram de 10,85 a 16,06 mm, na maior altitude, e de 11,47 a 15,36 mm, na menor altitude. O peso de mil grãos foi mais elevado no ambiente de maior altitude, variando de 74,36 a 195,2 g. Por sua vez, a produtividade de grão variou de 1,90 a 3,96 t ha⁻¹, no ambiente mais alto, enquanto no ambiente mais baixo variou de 1,80 a 3,93 t ha⁻¹. Para capacidade de expansão, duas populações apresentaram valores superando 30 mL g⁻¹. Foi observada correlação significativa e negativa entre número de ramificações do pendão e produtividade, e positiva entre capacidade de expansão e relação altura de espiga/altura de planta. As características número médio de ramificações do pendão, número médio de grãos por fileira, peso de mil grãos e capacidade de expansão apresentaram interação genótipo x altitude significativa. Para o peso de mil grãos, de forma geral, foi observado tendência de redução no peso, em função da redução da altitude. Para o número médio de grãos por fileira, número de ramificações do pendão e capacidade de expansão, as respostas relativas das populações foram diferenciadas diante da mudança de altitude, aumentando em alguns fenótipos e reduzindo em outros, indicando interação do tipo complexa. A constatação de interação diferencial significativa entre genótipos e altitudes para características de interesse sugerem que algumas populações deveriam ser indicadas para cultivo em altitudes específicas na região.

Palavras – chave: Pipoca; Componentes de rendimento; Interação genótipo x ambiente

8 INTRODUÇÃO

O milho pipoca (*Zea mays* L.) se caracteriza pela capacidade de expansão dos grãos, pequenos e duros, quando aquecidos a temperaturas de aproximadamente 180 °C, o que o diferencia dos demais tipos de milho. O milho pipoca pode ser uma opção de diversificação da propriedade e uma fonte de renda extra para o produtor. No Brasil, a produção do milho pipoca se concentra nas regiões Sul e Centro-Oeste, com destaque para o estado do Mato Grosso, com área plantada de 59.982 ha e produção de cerca de 251.900 toneladas. A produtividade tem variado de 4,5 a 5,0 t ha⁻¹ (Kist et al. 2018, Sangiovo et al. 2020), sendo que o milho pipoca apresenta, em média, de um terço a metade da produtividade do milho comum (Gama et al., 1990).

Até o início dos anos 2000, o consumo nacional de milho pipoca girava em torno de 80 mil toneladas e cerca de 75% desse mercado correspondia ao milho pipoca americano importado da Argentina. As principais razões para a dependência por materiais importados até os dias atuais devem-se à baixa qualidade da pipoca disponível no Brasil, relacionada às características das plantas durante o período de cultivo. Embora o milho pipoca seja mais precoce e prolífico em relação ao milho comum, em geral, é mais suscetível a pragas e doenças, mais propenso à formação de perfilhos e com sistema radicular menos desenvolvido, o que torna as plantas mais propensas ao acamamento e aos efeitos prejudiciais da seca (Miranda et al., 2003; Sawazaki 2010). Ademais, as populações nacionais para a obtenção de genitores de milho pipoca dos programas de melhoramento são pouco melhoradas, apresentam depressão endogâmica, baixa qualidade de colmo e baixa capacidade de expansão, o que dificulta a obtenção de linhagens para o desenvolvimento de cultivares híbridas (Coimbra 2000; Miranda et al. 2003). Assim, o aumento da variabilidade genética dos programas de melhoramento de milho pipoca é uma etapa fundamental e que precede à obtenção de cultivares com melhores características agronômicas, adaptadas e com boa qualidade culinária de grão.

Estudos têm destacado a baixa diversidade genética das populações comerciais de milho pipoca do Brasil (de Paula et al., 2010), mostrando a importância da avaliação de materiais externos aos programas de melhoramento nacionais. Populações locais são bons exemplos de recursos genéticos para atender essa demanda, uma vez que apresentam importante diversidade para características morfológicas e agronômicas, cuja diversidade vem sendo identificada em alguns países da América do Sul, Ásia e Europa (Bracco et al., 2009; Oner e Gulumser, 2014; Reichert et al., 2021).

Atualmente, existem 135 cultivares registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC), sendo essa quantidade um bom avanço, em relação ao ano 2010, quando existiam apenas 46 cultivares registradas (Swazaki, 2010). Entretanto, parte significativa dessas cultivares são híbridos americanos obtidos e mantidos por empresas privadas. Das 135, cerca de 30 são oriundas de programas públicos nacionais de melhoramento genético de pipoca. Quantificar o número de cultivares disponíveis para o comércio é um desafio, pelo fato de muitas empresas não disponibilizarem esses dados ou não atualizarem o seu banco de informações (Vittorazi et al., 2013), uma vez que as sementes são usadas apenas por seus colaboradores.

Apesar do mercado demonstrar preferência por grãos arredondados e de coloração amarela, o milho pipoca apresenta grande variação em coloração (amarelo, laranja, vermelho, preto, branca, entre outros), tamanho (grande, médio e pequeno) e formato (pontagudo, redondo e achatado) (capítulo 1). Parte relevante dessa variabilidade fora dos padrões comerciais é encontrada em materiais locais conservados *on farm* por pequenos agricultores tradicionais. Com o aumento do mercado de alimentos “gourmet”, é possível encontrar pipocas com cores e formatos de grão fora do padrão comercial (grãos amarelos e redondos). Entretanto, quando consideramos as cultivares de milho pipoca melhoradas por instituições públicas ou privadas, quase todas apresentam características de grão mais aceitas pelo mercado. Uma rara exceção no Brasil é a variedade de polinização aberta BRS Ângela, desenvolvida pela Embrapa, que apresenta grãos brancos e redondos. Entretanto, devido justamente à essa característica particular, sua difusão no mercado teve dificuldades (Swazaki, 2001; 2010) e, atualmente, não é mais encontrada para comercialização.

Embora grãos amarelos e redondos sejam o padrão comercial predominante, algumas populações locais de grãos distintos apresentam potencialidade destacada, considerando que podem ser comercializadas em mais um nicho de mercado. Além disso, as populações locais são recursos genéticos pouco estudados no Brasil, embora sejam frequentemente dotadas de valores real ou potencial para segmentos de mercado especiais, com maior valor agregado, e que valorizam alimentos com perfis nutricionais diferenciados e produzidos em sistemas de manejo de base agroecológica (Ogliari & Alves 2007; Ogliari et al., 2013).

Os municípios de Anchieta e Guaraciaba, no EOSC, apresentam uma importante diversidade de diferentes tipos de milho, o que imprime à essa região do estado catarinense uma primeira particularidade de natureza biológica do ambiente de estudo. Considerados como parte de um microcentro de diversidade do gênero *Zea* (Costa et al., 2016), foram

identificadas nesses dois municípios 1.513 populações locais de milho, categorizadas em milhos comum (337), pipocas (1078), doces ou adocicados (61) e farináceos (37) (Costa et al. 2016). A riqueza genética dessa espécie no EOSC também foi observada entre populações dentro dessas quatro categorias. Particularmente no caso do milho pipoca, pelo menos, cinco raças foram identificadas a partir de uma amostra de 70 populações da região, avaliadas para 16 características de espiga e grão (Silva et al. 2016). Além disso, essas populações também apresentaram notável diversidade para várias características de interesse em milho pipoca, como a capacidade de expansão, a produtividade, o ciclo e as características morfológicas de planta (Gonçalves et al., 2019; Seledes et al., 2019; Reichert Jr et al., 2021).

O estudo do potencial agrônomo de populações locais, em âmbito regional, possibilita a compreensão da adaptação da diversidade conservada *on farm* aos diferentes agroecossistemas originais de cultivo do país, gerando subsídios para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético, convencionais ou participativos, focados às suas respectivas demandas geográficas. Assumindo que ambientes com significativa variação em altitude possibilitam a geração de diversidade adaptada a diferentes microclimas, então, estes locais também se tornam áreas importantes para o desenvolvimento de estudos sobre o potencial adaptativo do germoplasma local conservado *on farm*. Essa é a segunda particularidade geográfica do ambiente de estudo, localizado no município de Anchieta, onde cerca de 75% do relevo é considerado fortemente ondulado, variando de 400 a 900 metros (Canci & Brassiani 2004).

A baixa diversidade das populações melhoradas e a necessidade de conhecimento do germoplasma presente no país, visando o desenvolvimento de novas variedades nacionais, faz com que estudos de diversidade e potencial de materiais locais sejam fundamentais. Por isso, esse trabalho teve por objetivo avaliar, em duas altitudes do município de Anchieta-SC, o desempenho agrônomo de onze populações locais de milho pipoca, representantes de quatro das cinco raças da região EOSC, descritas por Silva et al. (2016).

9 MATERIAL E MÉTODOS

9.1 MATERIAL VEGETAL

A título de padronização, o termo população foi usado para referir-se aos materiais dessa pesquisa, sendo definido por Dobzhansky (1951) como uma comunidade reprodutiva constituída por indivíduos de reprodução sexuada e cruzada e que compartilham de um mesmo reservatório gênico, cujos descendentes são formados pela combinação aleatória dos

gametas. Nesse sentido, onze populações locais de milho pipoca procedentes de Anchieta e Guaraciaba, no extremo oeste de Santa Catarina (EOSC), e uma testemunha (RS 20), comercializada pela empresa Feltrin Sementes Ltda, constituíram um total de doze tratamentos. Os tratamentos foram avaliados em dois experimentos conduzidos em unidades de produção familiar, localizadas em duas altitudes (745 e 410 metros de altitude) do município de Anchieta-SC, na safra agrícola 2018/2019. As populações locais foram selecionadas a partir da dissimilaridade dos grupos formados nas análises de agrupamento e componentes principais, conduzidas por Silva et al. (2016), com base em dezesseis características morfológicas de espiga e grão (Tabela 6). A cultivar RS 20 foi escolhida como testemunha por apresentar as características comuns do milho pipoca comercial (grãos redondos e amarelos) e também por ser uma das variedades mais cultivadas no país e facilmente encontrada no comércio.

Tabela 6 - Código de identificação (IDV), características de grão (formato e cor), altitude de origem e tempo de cultivo na mesma propriedade das populações de milho pipoca dos municípios de Anchieta e Guaraciaba, no extremo oeste de Santa Catarina (EOSC), e da variedade de polinização aberta comercial RS-20

IDV*	Formato do grão	Cor do grão	Altitude de origem	TP¹ (anos)	IDV*	Formato do grão	Cor do grão	Altitude de origem	TP¹ (anos)
2321A	Redondo	Preto	715 m	40 anos	2488A	Redondo	Branco	830 m	4 anos
2093A	Redondo	Preto	598 m	6 anos	2489E	Redondo	Vermelho	837 m	38 anos
2393B	Pontudo	Branco	588 m	5 anos	2279X	Redondo	Vermelho	689 m	10 anos
574A	Pontudo	Branco	522 m	8 anos	2152A	Pontudo	Amarelo	690 m	5 anos
977A	Pontudo	Branco	548 m	37 anos	2423A	Redondo	Alaranjado	584 m	20 anos
2108A	Pontudo	Branco	547 m	20 anos	RS-20	Redondo	Amarelo	n/d	n/d

*Identificação IDV da população local do EOSC como acesso do banco ativo de germoplasma de milho (BAG Milho) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) ou nome da testemunha comercial da Yoki. IDVs acima de 2000 estão associados às populações locais oriundas de Anchieta (SC), enquanto IDVs abaixo de 2000, às populações locais de Guaraciaba (SC). n/d – Não disponível. ¹ Tempo na propriedade.

O clima da região onde foram implantados os dois experimentos é classificado como mesotérmico úmido (Cfa de Köppen), temperatura média anual de 17,8 °C, precipitação

pluviométrica anual de 1.700 a 2.000 mm. O solo da região é classificado como Cambissolo (EMBRAPA, 2006).

9.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E PREPARO DA ÁREA

O delineamento experimental de ambos os experimentos foi de blocos completos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três fileiras de quatro metros lineares de comprimento, espaçadas 0,8 m entre si, e com espaçamento de 0,2 m entre plantas. A área útil da parcela de 2,4 m² foi estabelecida a partir da fileira central, excluindo as bordaduras de cabeceira. A densidade final de plantas após o desbaste foi de 62.500 plantas ha⁻¹, estando assim dentro do intervalo recomendado para a cultura (Gama et al., 1990).

O preparo da área foi realizado no sistema convencional, com aração e gradagens. A adubação utilizada foi orgânica a base de esterco de peru, calculada a partir da análise de solo. O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual, conforme a necessidade.

Os dados foram obtidos a partir de uma amostra de 10 plantas aleatórias ou da área total da parcela útil, conforme a característica avaliada. As características avaliadas a partir da média das dez plantas foram: Altura de planta (AP) (m); Altura da espiga principal (AE) (m); Relação altura de espiga/altura de planta (AE/AP); Diâmetro do colmo (DC) (mm); Número de ramificações do pendão (RP); Prolificidade (PROL); Número de folhas acima da espiga (NFAE); Comprimento de espiga (CE) (cm); Número de fileiras por espiga (NF); Número de grãos por fileira (GF); Diâmetro da espiga (DE) (mm). Peso de mil grãos (PMG) foi obtido a partir de três amostras de 100 grãos da parcela útil e o valor extrapolado para mil grãos. Produtividade (PROD) foi quantificada a partir da massa de grãos de todas as plantas da parcela útil e transformada em t ha⁻¹. Índice de circularidade da cariopse (ICC) ($ICC = C.L.E^{\frac{1}{3}}/C$) foi avaliada a partir de uma amostra de 10 grãos da região central da fileira de cinco espigas da parcela útil, sendo C (comprimento do grão), L (Largura do grão) e E (espessura do grão). Para a obtenção da capacidade de expansão (CEX), foi utilizado o método proposto pela Instrução normativa nº 61 de 2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2011), com modificações, sendo nesse caso utilizados 30g de grãos, em quatro repetições para cada ambiente, ao invés de seis repetições, tal como preconizado pela referida normativa. Foram utilizados 30g de grãos em quatro repetições para cada ambiente.

Os dados de temperatura e precipitação do período de execução do experimento, para a estação meteorológica localizada em Anchieta, foram obtidos do Centro de Informação de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia (Ciram) do Estado de Santa Catarina da Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri). A estação meteorológica de Anchieta está localizada a uma altitude de 801 m acima do nível do mar, e acima dos locais dos dois experimentos (745 e 410 m). Para as altitudes de 745 e 410, as temperaturas foram estimadas por meio da metodologia de equações (em função da altitude), desenvolvida para o estado de Santa Catarina (Massignam & Pandolfo 2006). Para tanto, foram utilizados os dados de quinze estações meteorológicas, visando efetuar os cálculos de previsão das temperaturas para as altitudes onde foram instalados os dois experimentos.

9.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises de variância individuais para cada ambiente foram realizadas considerando o modelo estatístico-matemático: $Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$, onde: Y_{ij} é a observação do i -ésimo tratamento do j -ésimo bloco, μ é igual à média geral; t_i é o efeito do i -ésimo tratamento, cujo efeito é fixo; b_j é o efeito do j -ésimo bloco, suposto aleatório; e_{ij} é o efeito do erro experimental suposto aleatório. A análise conjunta foi realizada segundo o modelo estatístico-matemático $Y_{ijk} = \mu + t_i + l_j + tl_{ij} + b_{k(j)} + e_{ijk}$, onde: Y_{ijk} é a observação do i -ésimo do tratamento, do j -ésimo local e do k -ésimo bloco, z -ésima planta; μ é igual a média geral dos locais; t_i = efeito dos tratamentos, suposto fixo; l_j = efeito de locais, suposto fixo; tl_{ij} = interação locais x tratamentos, suposto fixo; $b_{k(j)}$ = efeito de blocos dentro de locais, suposto aleatório; e_{ijk} = erro experimental, suposto aleatório.

Foram realizadas as análises de variância para cada local e conjunta, com base em análises prévias de homoscedasticidade, para verificar se os dados cumpriam os pressupostos da análise de variância. Para a realização da análise conjunta a partir dos dados obtidos nas duas altitudes, também foi avaliada previamente a homogeneidade dos quadrados médios residuais relativos aos experimentos nos diferentes locais, observando se a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual era menor do que sete, conforme proposto por Pimentel-Gomes (1990). As variáveis que apresentaram diferenças significativas entre populações e locais pelo teste F ao nível de significância de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) foram submetidas ao teste de médias de Scott-Knott ao mesmo nível de significância. Para as variáveis, cuja interação genótipos x ambientes foi significativa, a representação foi feita graficamente.

Análises de correlação de Pearson foram realizadas entre variáveis com base nas médias de cada variedade nos dois locais e cujas diferenças entre tratamentos tenham sido significativas pela análise conjunta.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos programas GENES (Cruz, 2001) e Past 3.04 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

10.1 DADOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO

Os dados climatológicos, tomados durante o período de execução dos experimentos, estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Temperatura média (°C), nas altitudes de 801 m (estação meteorológica), 745 m e 410 m, e precipitação (mm) mensal e média histórica do município de Anchieta -SC, durante o período de execução do experimento. Safra 2018/2019

Mês	Temp. Média* (801 m)	Temp. Média** (745 m)	Temp. Média** (410 m)	Precipitação*	Média histórica (mm)***
Novembro/2018	21,3	21,6	23,1	268,20	175,8
Dezembro/2018	22,4	22,9	24,0	75,60	191,3
Janeiro/2019	23,9	24,4	25,7	217,00	202,8
Fevereiro/2019	21,7	21,8	23,5	194,40	185,1
Março/2019	20,8	21,5	22,1	116,40	157,8
Abril/2019	20,0	20,1	21,2	165,80	150,4
Maio/2019	17,4	17,8	18,7	302,20	148,7
Média Temp.	21,07	21,44	22,61		
Prec. Acum.				1.339,6	

Fonte: EPAGRI, 2020. * Valor observado na estação meteorológica de Anchieta. ** Média obtida a partir da metodologia de equações de (Massignam & Pandolfo 2006). *** Média dos dados históricos obtidos da estação meteorológica de São Miguel do Oeste.

A temperatura média do ar variou em virtude da mudança de altitude. Durante o período de condução dos experimentos, as temperaturas médias foram maiores no local de menor altitude, variando em 0,6 °C, no mês de março de 2019, a 1,7 °C, no mês de fevereiro do mesmo ano. Essas diferenças médias na temperatura podem ter contribuído para as

diferenças observadas entre locais quanto ao comportamento de algumas populações, para as características avaliada no presente estudo.

Da literatura, já é conhecido que a redução na altitude causa um aumento na temperatura (Montgomery, 2006). De fato, Souza (2019), trabalhando com populações de milho doce, em três altitudes do EOSC, constatou uma diferença de 1,8 °C, em média, entre locais com 295 m de diferença de altitude, durante os meses de novembro a março da safra 2017/2018, sendo as maiores temperaturas associadas aos locais de menor altitude. No presente trabalho, os dois locais apresentam diferenças de altitude de 335 m e na média de temperatura de 1,2 °C.

10.2 ANÁLISES INICAIS

Os coeficientes de variação (CV) para as características vegetativas, nas análises individuais por altitude, variaram de 14,57 a 2,84%, sendo que aquelas que apresentaram maiores e menores CVs foram altura de espiga (14,57 e 10,79%) e número de folhas acima da espiga (2,84 e 3,50%), respectivamente. Para os componentes de rendimento, os CVs variaram de 1,77 a 20,93%, sendo que as variáveis que apresentaram maiores e menores CVs foram produtividade (20,93 e 16,33%) e índice de circularidade da cariopse (1,77 e 2,32%), nessa ordem. De forma geral, CVs entre 20% e 30% são considerados de precisão regular (Silva et al., 2011), sendo indicados CVs abaixo desses valores, para experimentos da área agrícola. A recomendação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é que os CVs para experimentos de soja, milho, trigo, feijão e sorgo não superem os 20% (Brasil, 2012). Entretanto, alguns autores discutem que essa classificação do CV pode ser imprópria, por não levar em conta que a avaliação da precisão depende da variável resposta sob consideração (Silva et al., 2011). CVs entre 15 e 25% são comumente encontrados na literatura para variáveis como produtividade de grãos, em diferentes tipos de milho, sendo uma das características em que se estimam os maiores CVs em milho (Scapim et al., 2002; Gonçalves et al., 2019). Seledes et al (2019) estimaram CV de 29,19% para produtividade de grão, em populações crioulas de milho pipoca do EOSC, enquanto Souza (2019) estimou CVs de até 22,77%, para produtividade de espigas sem palha, em variedades locais de milho doce da mesma região. Dessa forma, para as características avaliadas, os CVs estão dentro dos intervalos encontrados em outros trabalhos, indicando que os resultados e conclusões do presente trabalho podem ser considerados de boa precisão experimental.

A partir das análises de variância, foi possível observar que, para as características AP, AE, AE/AP, DC, PROL, NFAE, CE, NF, DE, ICC e PROD, a interação genótipo x ambiente não foi significativa (tabelas 8 e 9). Assim sendo, para essas características, a comparação entre genótipos foi realizada por meio da análise individual por ambiente. As análises de variância individuais por altitude mostraram que as populações diferiram entre si significativamente ($p \leq 0,05$), para a maioria das características morfológicas e agronômicas avaliadas, exceto para número de grãos por fileira, no local de maior altitude (tabelas 8 e 9). Esses resultados indicam importante diversidade genética entre as populações de milho pipoca do EOSC avaliadas no presente estudo, para as características morfológicas e agronômicas em questão.

Para as características NRP, GF, PMG e CEX, as análises de variância mostraram um efeito significativo para a interação genótipo x ambiente (tabela 10) e, portanto, para essas características, as comparações foram discutidas por meio da análise de variância conjunta dos experimentos. As interações observadas foram do tipo complexa, onde há alteração no ranking das variedades com a mudança do ambiente, indicando que algumas populações apresentam repostas diferenciadas com a mudança de altitude. A interação complexa sugere que algumas populações podem estar mais bem adaptadas a determinadas altitudes dos municípios de estudo, conforme apresentado abaixo.

10.3 MORFOLOGIA

Com relação à altura de plantas, no local de maior altitude, as estimativas variaram entre 1,53 m (RS-20) e 2,09 m (2279X), enquanto no local de menor altitude, variaram de 1,67 (RS-20) a 2,20 m (2393B). As populações foram, em média, 6,7% mais altas no local de menor altitude. A maior diferença entre as alturas foi observada para a população 2321A, com um aumento de 18%, no local mais baixo (tabela 8).

Apesar de locais mais baixos apresentarem temperaturas mais elevadas, que reduzem o período para florescimento do milho (Xue-jun et al., 2013; Cao et al., 2007), as plantas cultivadas nessas altitudes apresentaram maiores alturas. As temperaturas médias maiores em menores altitudes (tabela 2) podem ter influenciado o crescimento das plantas, sendo que as plantas de milho respondem a temperatura para completar o ciclo. No presente estudo, as populações com plantas mais altas, para o ambiente de maior altitude, foram 2279X (2,09 m), 977A (1,92 m), 2393B (1,94 m) e 2108A (1,98 m), não diferenciando entre si significativamente (tabela 3). Por outro lado, no ambiente mais baixo, as mesmas populações

apresentaram alturas próximas ou superiores ao ambiente de altitude mais elevada, sendo elas de 2,08, 1,99, 2,20 e 1,98 m, respectivamente.

Seledes et al. (2019) encontraram maiores valores de altura para populações locais de pipoca do EOSC, avaliadas em Florianópolis (algumas coincidentes com as do presente estudo). Para as populações 2489E, 2321A, 2423A e 574A, estes autores estimaram alturas de 1,75, 1,79, 1,82 e 2,14 m, respectivamente, enquanto os valores estimados no local de menor altitude deste estudo foram de 1,71, 1,83, 1,76 e 1,92 m, para as mesmas populações, nessa ordem. É possível observar uma tendência de aumento da altura de planta com a redução da altitude do local, uma vez que Florianópolis está a 4 m de altitude. Isso pode estar relacionado com as temperaturas mais elevadas, quanto mais próximo do nível do mar, além de maiores índices de luminosidade e exposição solar. O mesmo comportamento foi observado no estudo realizado por Tang et al. (2000), avaliando híbridos de milho a 600 e 1.500 m de altitude, onde no local mais baixo (600 m), os híbridos apresentaram 2,37, 2,65 e 2,63 m de altura de planta, enquanto no local mais alto (1.500 m), os mesmos híbridos apresentaram 2,21, 2,46 e 2,36 m, respectivamente.

Os programas de melhoramento genético de milho pipoca buscam reduzir a altura de planta para facilitar a colheita e evitar a quebra de colmo e o acamamento de planta. Tal fato fica evidenciado, quando se observa a altura de planta encontrada em trabalhos com variedades comerciais deste cultivo. Scapim et al. (2002), por exemplo, não encontraram alturas de planta superiores a 1,70 m, ao avaliarem nove populações de milho pipoca comercial. Todas as populações locais do presente estudo foram mais altas, nas duas altitudes, e significativamente diferentes da testemunha comercial RS 20. Todavia, RS 20 apresentou variações de altura de planta, em diferentes estudos. Ximenes et al. (1995) estimaram altura de planta de 1,09 m, em Goiânia (GO); Miranda et al. (2003), 1,38 m, em Coimbra (MG); Scapim et al. (2002), 1,31 m, em Maringá (PR); e Gonçalves et al. (2019), 1,12 m, em Florianópolis (SC). No presente estudo, a altura média de planta dessa variedade (RS 20) variou entre 1,29 a 1,36 m, estando dentro do intervalo encontrado em estudos anteriores, em diferentes regiões do Brasil. De fato, a variedade RS-20 apresentou altura reduzida, em relação aos demais tratamentos do presente estudo, por ter passado por um processo de melhoramento genético, no qual se buscou reduzir essa característica.

Quanto à altura da espiga, houve uma variação de 0,59 m (745 m de altitude) a 0,63 m (410 m de altitude). A altura da espiga apresentou um aumento de 13,3 %, na média, entre os dois locais, sendo os maiores valores obtidos no local de menor altitude. No ambiente mais

alto, os maiores valores para altura de espiga foram observados para as populações 2393B, 2093A, 977A, 2108A e 2279X, não diferindo significativamente entre si, sendo 20,28, 12,04, 14,45, 22,89 e 20,48 % maiores do que a média de tratamentos para aquele ambiente. Para o ambiente mais baixo, a população 2393B apresentou o maior valor para a altura de espiga, sendo 34,04 % mais alta do que a média de tratamentos para esse ambiente. Para a testemunha comercial RS 20, a altura de espiga foi estimada em 0,59 cm, para o local mais alto, e 0,63 cm, para o local mais baixo, sendo 28,91 e 32,97 % menores do que as médias correspondentes, respectivamente.

A média de tratamentos para a relação AE/AP, no ambiente mais alto, foi 0,47, sendo 4,25 % menor do que a média de tratamentos do ambiente mais baixo. No ambiente mais baixo (410 m), as populações mais altas foram 2279X (2,08 m) e 2393B (2,20 m), com índice AE/AP de 0,50 e 0,57, respectivamente, sendo 2,04 e 16,32 % maiores do que a média dos tratamentos para aquele ambiente (0,49). A testemunha comercial RS 20 apresentou valor médio de 0,45, valor superior aos encontrados em outros estudos (Scapim et al., 2002; Gonçalves et al., 2019). Valores acima de 0,6 para esse índice são indesejáveis, pois significa que a espiga está muito alta, em relação à altura total da planta, aumentando a propensão ao acamamento. No trabalho realizado por Paula et al. (2010), com variedades e híbridos de milho pipoca, os índices variaram de 0,53 a 0,60. No trabalho de Scapim et al. (2002), avaliando nove populações de milho pipoca e seus cruzamentos, foram obtidos índices entre 0,41 e 0,57. Gonçalves et al. (2019) obtiveram valores entre 0,39 e 0,66, para o índice AE/AP, em populações locais de milho pipoca do EOSC. No presente trabalho, nenhuma população apresentou índice AE/AP superior a 0,57, nas duas altitudes.

Tabela 8 - Médias de Altura de planta (AP), altura de espiga (AE), índice AP/AE, diâmetro do colmo (DC), prolificidade (PROL) e número de folhas acima da espiga (NFAE) de populações locais de milho pipoca e cultivar comercial RS-20 cultivados em duas altitudes (745 e 410 m), no município de Anchieta – SC, safra 2018/2019

Pop.	AP (m)			AE (m)			AE/AP		
	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média
2321A	1,55 c	1,83 c	1,69	0,72 b	0,96 b	0,84	0,46 a	0,52 b	0,49
2093A	1,82 b	2,02 b	1,92	0,93 a	1,08 b	1,00	0,51 a	0,53 b	0,52
2393B	1,94 a	2,20 a	2,07	1,00 a	1,26 a	1,13	0,51 a	0,57 a	0,54
574A	1,84 b	1,92 b	1,88	0,82 b	0,99 b	0,90	0,49 a	0,52 b	0,50
977A	1,92 a	1,99 b	1,95	0,95 a	1,04 b	1,00	0,49 a	0,52 b	0,50
2108A	1,98 a	1,98 b	1,98	1,02 a	1,10 b	1,06	0,51 a	0,55 a	0,53
2488A	1,79 b	1,93 b	1,86	0,77 b	0,88 c	0,83	0,43 b	0,46 c	0,43
2489E	1,67 c	1,71 c	1,69	0,75 b	0,70 d	0,73	0,45 b	0,41 d	0,43
2279X	2,09 a	2,08 a	2,08	1,00 a	1,04 b	1,02	0,48 a	0,50 b	0,49
2152A	1,81 b	1,92 b	1,86	0,76 b	0,84 c	0,80	0,41 b	0,43 c	0,42
2423A	1,59 c	1,76 c	1,67	0,65 b	0,79 c	0,72	0,41 b	0,44 c	0,43
RS-20	1,29 d	1,36 d	1,32	0,59 b	0,63 d	0,61	0,45 b	0,46 c	0,45
Média	1,77 b	1,89 a		0,83 b	0,94 a		0,47 b	0,49 a	
CV % ind. ^a	7,49	6,15		14,57	10,79		6,63	6,84	
Valor p^b	0,001	0,000		0,007	0,000		0,000	0,000	
p Gen. ^c			0,000*			0,000*			0,000*
p Amb. ^d			0,000*			0,004*			0,000*
p GxA. ^e			0,434 ^{ns}			0,326 ^{ns}			0,188 ^{ns}

Pop.	DC			PROL			NFAE		
	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média
2321A	10,85 b	11,82 c	11,33	1,40 a	1,67 a	1,53	5,25 b	5,30 c	5,27
2093A	11,61 b	12,26 c	11,93	1,57 a	1,55 a	1,56	5,47 b	5,60 b	5,53
2393B	12,35 b	12,56 c	12,45	1,27 b	1,27 b	1,27	5,07 b	5,10 c	5,08
574A	12,27 b	13,09 b	12,68	1,22 b	1,22 b	1,22	5,32 b	5,35 c	5,33
977A	16,06 a	15,36 a	15,71	1,30 b	1,30 b	1,30	5,72 a	5,75 a	5,73
2108A	12,99 b	13,01 b	13,00	1,25 b	1,20 b	1,22	5,27 b	5,25 c	5,26
2488A	11,84 b	12,27 c	12,05	1,35 a	1,47 a	1,41	5,10 b	5,10 c	5,10
2489E	12,02 b	11,72 c	11,87	1,22 b	1,05 c	1,13	5,82 a	5,87 a	5,85
2279X	12,99 b	13,26 b	13,12	1,02 b	0,97 c	1,00	5,17 b	5,20 c	5,18
2152A	12,26 b	13,42 b	12,84	1,40 a	1,32 b	1,36	6,00 a	6,05 a	6,02
2423A	11,76 b	11,47 c	11,61	1,17 b	1,50 a	1,33	5,20 b	5,12 c	5,16
RS-20	12,06 b	12,27 c	12,16	1,27 b	1,22 b	1,25	5,72 a	5,82 a	5,77
Média	12,42	12,71		1,29	1,31		5,43	5,46	
CV % ind ^a	7,59	4,89		9,06	14,17		2,84	3,50	
Valor <i>p</i> ^b	0,001	0,000		0,002	0,002		0,000	0,000	
<i>p</i> Gen. ^c			0,000*			0,000*			0,000*
<i>p</i> Amb. ^d			0,159 ^{ns}			1,000 ^{ns}			1,000 ^{ns}
<i>p</i> GxA. ^e			1,000 ^{ns}			0,067 ^{ns}			1,000 ^{ns}

^a Coeficiente de variação experimental da análise individual. ^b Significância da diferença entre tratamentos da análise individual. ^c Significância dos tratamentos pela análise conjunta. ^d Significância da diferença entre ambientes. ^e Significância da interação genótipo x ambiente extraída da análise de variância da análise conjunta. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na vertical não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise individual.

Além de suporte para as folhas, o colmo constitui a estrutura de reserva de fotoassimilados, que são transportados para os grãos, durante a fase de enchimento, e direcionados para a formação das folhas, durante a fase vegetativa (Magalhães et al., 2002). Para essa característica, as populações variaram de 10,85 a 16,06 mm, no ambiente mais alto, e de 11,47 a 15,36 mm, no ambiente mais baixo. A população 977A do presente estudo apresentou valores de diâmetro do colmo superiores às demais populações (tabela 3), sendo 29,30 % superior à média dos tratamentos, no ambiente mais alto, e 20,84 % superior à média, no ambiente mais baixo. De forma geral, o milho pipoca apresenta diâmetro de colmo inferior ao milho comum. Azar et al. (1997), trabalhando com 36 variedades de milho pipoca e um híbrido de milho comum, obtiveram média de diâmetro de colmo de 18,1 mm. Por outro lado, Almeida et al. (2015), avaliando 10 variedades de milho pipoca, encontraram valores de até 17,2 mm de diâmetro do colmo com adubação orgânica, enquanto os mesmos tratamentos sem adubação ficaram com média de 14,0 mm.

A combinação da altura de planta, altura da espiga, índice AE/AP e diâmetro do colmo estão estreitamente ligados à possibilidade de quebra do colmo e acamamento, sendo mais desejáveis plantas mais baixas, com espigas não muito altas, em relação à altura da planta, e colmos mais grossos. Mesmo o colmo sendo considerado uma estrutura de dreno de fotoassimilados, o seu efeito sobre a produtividade não é importante (Souza et al., 2014). A população 2093A, por exemplo, que apresentou elevada altura de planta (1,92 m) e diâmetro de colmo de 11,53 mm (5,01 % menor que a média geral das populações) não seria indicada para cultivo em locais com alta incidência de vento ou solos férteis.

Para a característica prolificidade, as populações apresentaram média de 1,29 espigas, no local mais alto, e 1,31, no local mais baixo. Em comparação à testemunha comercial RS 20, a prolificidade das populações 2321A e 2093A foram 22,4 e 24,8 % superiores à média da testemunha. A prolificidade é uma característica comum em milho pipoca (Brunson & Smith 1945). Rinaldi et al. (2007) encontraram valores de prolificidade entre 1,17 e 1,57 espigas planta⁻¹, em populações do programa de melhoramento da Universidade Estadual de Londrina. Estudos indicam que a prolificidade apresenta correlação positiva com a produtividade, podendo ser uma característica de seleção indireta para o aumento da produtividade em milho (Souza et al., 2008). Vale ressaltar que as populações que se destacaram em prolificidade apresentam grãos de coloração preta. Outros estudos já mostraram que populações de milho pipoca de coloração preta do EOSC são mais prolíficas

do que populações da mesma região com outras cores de grão (Seledes et al., 2019; Reichert Junior et al., 2021).

Segundo Ritchie et al., (2003), o número total de folhas em uma planta de milho pode variar conforme a variedade e as condições de ambiente. Os mesmos autores mencionam que a área foliar acima da espiga, que pode representar até 40 % do total da extensão foliar, é fundamental para proporcionar uma boa produtividade, devido à produção de fotoassimilados, que são redirecionados aos grãos durante a fase de enchimento. As populações que apresentaram as maiores médias para número de folhas acima da espiga foram 2152A (6,02) e 2489E (5,85), sendo 10,66 e 7,53 % maiores do que a média geral. Quando comparadas com a testemunha comercial, elas apresentaram 4,33 e 1,38 %, em média, mais folhas acima da espiga. Para essa característica, nem o ambiente, nem a interação foram significativos, sendo a diferença significativa apenas entre os tratamentos.

Assim, considerando o conjunto de características vegetativas, destaca-se a população 2489E, devido às plantas não serem muito altas (1,69 m), ao diâmetro de colmo ser aceitável (11,87 mm) e ao número de folhas acima da espiga ser elevado (5,85) (tabela 3), assim como as alturas de planta das populações 2423A e RS-20, com 1,67 e 1,32 m, respectivamente. Entretanto, outras populações também apresentam características de interesse, como o diâmetro de colmo da população 977A (15,71 mm) e o número de folhas acima da espiga (6,02) e relação altura da espiga/altura da planta da população 2152A (0,42). Características de planta da fase vegetativa são importantes, uma vez que as populações de milho pipoca brasileiras são pouco melhoradas geneticamente, suscetíveis a doenças, apresentam baixa qualidade de colmo e sistema radicular menos desenvolvido, em relação ao milho comum (Andrade 1996; Coimbra 2000 e Miranda et al. 2003).

10.4 COMPONENTES DE RENDIMENTO

Para comprimento de espiga, a população que se destacou foi 2279X, tendo o maior valor para o local de maior altitude, sendo 19,25 % maior do que a média de tratamentos naquele ambiente. Em comparação à testemunha comercial, a espiga da população 2279X é, em média, 21,41 % maior. Para o local de menor altitude, a população 2279X não diferiu significativamente das populações 2152A, 2488A e 977A. A população com o menor valor para comprimento de espiga foi 2321A, para o local de maior altitude. Para o local de menor altitude, com exceção das populações 2279X, 2152A, 2488A e 977A, as demais populações não diferiram entre si significativamente.

Para a característica número de fileiras por espiga, as populações apresentaram variações de 18 a 12 fileiras, no local de maior altitude, e de 16 a 12 fileiras, no local de menor altitude, com destaque para a população 2423A. Para o número de grãos por fileira, os valores variaram de 27,91 a 34,32, no local de maior altitude, não diferindo significativamente entre si, e de 24,89 a 37,97, no local de menor altitude, diferindo significativamente entre si. Considerando a média dos dois ambientes, destacam-se as populações 2321A, 2093A, 2488A, 2423A e 2152A, para essa característica. A população 2423A se destacou para número de fileiras e número de grãos por fileira (tabela 9). Resultados da literatura indicam que o número de fileiras é um dos principais componentes do rendimento de grãos, mas é prejudicial para a qualidade culinária da pipoca, sendo que grande parte dos materiais comerciais de pipoca apresentam de 12 a 14 fileiras de grãos (Carpentieri-Pípolo et al., 2002; Melo et al., 2017). Essa informação é relevante pois distingue os objetivos dos programas de melhoramento genético de milho pipoca e milho comum.

Valores de circularidade indicam o quão esférico é o grão, sendo que grãos mais simétricos apresentam valores próximos a 0,5 (Seledes et al., 2019). Estudos indicam que valores mais próximos a 0,5 também estão correlacionados com a capacidade de expansão, indicando que grãos mais esféricos ou com dimensões similares apresentam melhores capacidades de expansão (Gonçalves et al., 2019; Seledes et al., 2019). No presente estudo, as populações que mais se aproximaram de 0,5, na média, foram 2279X (0,68), 2489E (0,68), RS 20 (0,68) e 2488A (0,69).

Populações mais produtivas apresentam maior números de grãos por fileira e maior número de fileiras por espiga, o que pode interferir no formato do grão (Cheim et al., 2021). No presente estudo, a população 2423A se destacou entre as mais produtivas, além de possuir os maiores números de fileiras e de grãos por fileira. Por outro lado, essa também foi a população que apresentou as maiores diferenças entre as dimensões do grão, resultando em um índice de circularidade de 0,77, no local de maior altitude, e de 0,75, no local de menor altitude.

Tabela 9 - Médias de Comprimento de espiga (CE), número de fileiras (NF), índice de circularidade da cariopse (ICC), diâmetro de espiga (DE) e produtividade (PROD) de populações locais de milho pipoca e cultivar comercial RS-20 cultivados em diferentes altitudes no município de Anchieta – SC, safra 2018/2019.

Pop.	CE (cm)			NF			ICC			DE (mm)			PROD (t ha ⁻¹)		
	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média
2321A	10,83 d	10,88 b	10,85	14 b	14 b	14	0,75 b	0,74 a	0,74	24,76 c	24,42 c	24,59	1,90 b	1,99 c	1,94
2093A	11,89 b	11,98 b	11,93	12 c	12 c	12	0,77 a	0,75 a	0,76	26,63 b	26,71 b	26,67	2,67 b	3,37 a	3,02
2393B	14,29 d	14,95 b	14,62	12 c	12 c	12	0,71 c	0,70 c	0,70	30,44 a	29,40 a	29,92	3,26 a	2,48 b	2,87
574A	13,34 c	11,53 b	12,43	14 b	14 b	14	0,71 c	0,72 b	0,71	33,04 a	31,04 a	32,04	2,69 b	2,76 b	2,72
977A	14,40 b	14,36 a	14,38	12 c	14 b	13	0,74 b	0,70 c	0,72	31,35 a	29,49 a	30,42	2,97 b	3,05 a	3,01
2108A	13,65 b	12,34 b	12,99	14 b	14 b	14	0,72 c	0,71 c	0,71	31,72 a	29,87 a	30,79	3,96 a	3,45 a	3,70
2488A	14,39 b	15,16 a	14,77	14 b	14 b	14	0,71 c	0,67 d	0,69	27,71 b	27,09 b	27,40	3,84 a	3,25 a	3,54
2489E	13,06 c	13,22 b	13,14	14 b	14 b	14	0,69 d	0,67 d	0,68	26,97 b	26,39 b	26,68	2,59 b	1,80 c	2,19
2279X	16,10 a	15,41 a	15,75	14 b	14 b	14	0,70 d	0,67 d	0,68	31,52 a	28,17 a	29,84	3,06 b	2,77 b	2,91
2152A	14,43 b	15,03 a	14,73	14 b	14 b	14	0,73 c	0,73 b	0,73	30,37 a	29,63 a	30,00	3,50 a	3,68 a	3,59
2423A	12,36 c	12,37 b	12,36	18 a	16 a	17	0,77 a	0,75 a	0,76	31,83 a	30,54 a	31,18	3,36 a	3,93 a	3,64
RS-20	13,26 c	12,10 b	12,68	12 c	12 c	12	0,71 c	0,68 d	0,68	27,66 b	26,23 b	26,94	2,72 b	2,50 b	2,61
Média	13,50	13,28		13,67	13,67		0,73 a	0,71 b		29,50 a	28,25 b		3,04	2,92	
CV % ind. ^a	9,07	7,00		6,88	6,45		2,32	1,77		3,98	4,24		20,93	16,33	
Valor <i>p</i> ^b	0,002	0,000		0,003	0,006		0,000	0,000		0,000	0,000		0,003	0,000	
<i>p</i> Gen. ^c			0,000*			0,000*			0,000*			0,000*			0,000*
<i>p</i> Amb. ^d			0,063 ^{ns}			0,122 ^{ns}			0,003*			0,000*			1,000 ^{ns}
<i>p</i> GxA. ^e			0,333 ^{ns}			0,123 ^{ns}			0,103 ^{ns}			0,317 ^{ns}			0,142 ^{ns}

^a Coeficiente de variação experimental da análise individual. ^b Significância da diferença entre tratamentos da análise individual. ^c Significância dos tratamentos pela análise conjunta. ^d Significância da diferença entre ambientes. ^e Significância da interação genótipo x ambiente extraída da análise de variância da análise conjunta. Médias seguidas por letras iguais minúsculas na vertical não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise individual.

Quanto ao potencial produtivo, algumas populações quase atingiram a marca de 4 t ha⁻¹, (2108A, no local mais alto; 2423A, no local mais baixo) (tabela 9). Essa produtividade é interessante, quando comparada à produtividade de híbridos comerciais, como o IAC 268 e IAC 367, que apresentam potencial produtivo de 4,5 t ha⁻¹ (Sawazaki 2018). Para as populações 574A, 977A e RS20, Gonçalves et al. (2019), avaliando o desempenho dessas mesmas populações, em Florianópolis (SC) e Anchieta (SC), encontraram produtividades de 2,17 t ha⁻¹, em Florianópolis, e 0,65 t ha⁻¹, em Anchieta, para 574A; 1,58 t ha⁻¹, em Florianópolis, e 0,65 t ha⁻¹, em Anchieta, para 977A; e 0,76 t ha⁻¹, para RS 20, em Anchieta. No presente estudo, os valores foram de 2,69 t ha⁻¹ a 745 m e 2,76 t ha⁻¹ a 410 m, para 574A; 3,05 t ha⁻¹ a 745 m e 2,97 t ha⁻¹ a 410 m, para 977A; e 2,72 t ha⁻¹ a 745 m e 2,50 t ha⁻¹ a 410 m, para RS 20.

A testemunha comercial foi estatisticamente inferior a cinco populações locais (2393B, 2108A, 2488A, 2152A e 2423A), no local mais alto. Além disso, as populações 2108A (mais produtiva no local de maior altitude) e 2423A (mais produtiva no local mais baixo) foram 45 % e 57 %, respectivamente, mais produtivas que a testemunha comercial.

Assim, para a produtividade, na média dos dois ambientes, destacaram-se as populações 2108A (3,70 t ha⁻¹), 2423A (3,64 t ha⁻¹), 2152A (3,59 t ha⁻¹) e 2488A (3,54 t ha⁻¹). Vale ressaltar que as populações com os menores valores de capacidade de expansão se encontram entre as mais produtivas (2423A e 2488A).

10.5 ANÁLISE CONJUNTA

As características que apresentaram interação genótipo x ambiente significativo estão apresentadas na tabela 10.

Para a variável número de ramificações do pendão, as populações que se destacaram foram a 2321A, 2093A e 2279X, na média, pela análise conjunta, sendo 22,91, 14,78 e 10,29 % superiores à média geral das populações. A população 2321A apresentou 26,05 % mais ramificações do pendão do que a testemunha comercial RS 20. Além disso, RS 20 foi aquele tratamento que apresentou a maior diferença para o número de ramificações entre um ambiente e outro, com aumento de 49,39%, no local mais baixo. Comparando os locais, a média de ramificações do pendão foi 7,82 % maior no ambiente de menor altitude, indicando que este local é mais propenso à produção de um maior número de ramificações do pendão.

Tabela 10 - Médias de número de ramificações do pendão (NRP), grãos por fileira (GF), peso de mil grãos (PMG) e capacidade de expansão (CEX) de populações locais de milho pipoca e cultivar comercial RS-20 cultivados em diferentes altitudes no município de Anchieta – SC, safra 2018/2019

Pop.	NRP			GF			PMG (g)			CEX (mL g ⁻¹)		
	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média
2321A	22,90 Aa	22,48 Aa	22,69 a	31,34 aA	34,37 aA	32,85 a	74,3 eA	71,5 dA	72,9 f	27,40 b	15,83 d	21,61 d
2093A	22,14 Aa	20,25 Aa	21,19 b	33,49 aA	35,03 aA	34,26 a	104,7 dA	104,3 cA	104,5 e	23,67 c	17,82 d	20,74 d
2393B	17,17 Ab	16,19 Ab	16,68 c	27,91 aA	29,20 bA	28,55 c	161,6 bA	155,6 bA	158,6 b	31,13 a	31,53 a	31,33 a
574A	16,74 Ab	18,66 Ab	17,70 c	30,22 aA	24,89 cB	27,55 c	142,1 bA	141,4 bA	141,7 c	30,76 a	23,63 c	27,19 b
977A	18,22 Ab	17,99 Ab	18,11 c	33,20 aA	29,73 bA	31,46 b	127,2 cA	123,8 cA	125,5 d	30,12 a	30,06 a	30,09 a
2108A	16,10 Ab	17,86 Ab	16,98 c	29,27 aA	27,98 bA	28,62 c	181,9 aA	149,8 bB	165,8 b	24,83 c	25,99 b	25,41 c
2488A	17,47 Ab	17,72 Ab	17,59 c	33,89 aA	34,74 aA	34,31 a	129,8 cA	116,1 cA	122,5 d	10,82 d	12,57 e	11,69 f
2489E	17,17 Bb	20,38 Aa	18,78 c	31,04 aA	30,54 bA	30,79 b	143,9 bA	104,7 cB	124,3 d	26,71 b	23,12 c	24,91 c
2279X	17,77 Bb	22,95 Aa	20,36 b	30,28 aA	26,24 cB	28,26 c	195,2 aA	178,4 aA	186,8 a	26,66 b	26,81 b	26,73 b
2152A	17,00 Ab	17,70 Ab	17,35 c	34,32 aA	37,97 aA	35,51 a	107,1 dA	113,3 cA	110,2 e	27,37 b	21,25 c	24,31 c
2423A	16,12 Ab	16,24 Ab	16,18 c	32,30 aB	36,71 aA	34,50 a	109,5 dA	107,1 cA	108,3 e	12,37 d	15,31 d	13,84 e
RS-20	14,44 Ac	21,57 Aa	18,00 c	30,09 aA	29,37 bA	29,73 b	146,1 bA	125,4 cB	135,7 d	23,94 c	22,69 c	23,32 c
Média	17,77 b	19,16 a		31,45 a	31,40 a		135,29 a	124,28 b		24,65 a	22,21 b	
CV % ^a	9,14			9,02			9,77			8,38		
Valor <i>p</i> ^b	0,000	0,002		0,184 ^{ns}	0,000		0,000	0,000		0,00	0,00	
<i>p</i> Gen. ^c			0,000*			0,000*			0,000*			0,000*
<i>p</i> Amb. ^d			0,023*			1,000 ^{ns}			0,001*			0,003*
<i>p</i> GxA. ^e			0,000*			0,014*			0,015*			0,000*

Médias da combinação genótipo e ambiente seguidas por letras minúsculas iguais na vertical (genótipos) e maiúsculas na horizontal (locais) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise de variância conjunta de experimentos. Médias marginais (negrito) de genótipos na coluna e médias marginais de locais na linha seguidas por letras minúsculas iguais pertencem ao mesmo grupo para seus respectivos efeitos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise de variância conjunta de experimentos. ^a Coeficiente de variação experimental da análise conjunta. ^b Significância da diferença entre tratamentos da análise individual. ^c Significância dos tratamentos pela análise conjunta. ^d Significância da diferença entre ambientes. ^e Significância da interação genótipo x ambiente extraída da análise de variância da análise conjunta.

Para a característica número de grãos por fileira, as populações apresentaram diferença significativa apenas para o local de menor altitude. Na média entre os ambientes, as populações 2488A, 2423A, 2152A, 2321A e 2093A se destacaram, sendo significativamente superiores às demais. Seledes et al., (2019) também encontraram valores significativamente superiores dessa variável para as populações 2423A, 2321A e 2093A, em relação às outras populações do EOSC.

Com relação ao peso de mil grãos, a população 2279X apresentou a maior média geral pela análise conjunta. O peso de mil grãos dessa população foi 44,28 % maior do que a média de tratamentos, no ambiente de maior altitude, e 43,54% maior do que a média de tratamentos, no ambiente de menor altitude. Para a população 2108A, a média do peso de mil grãos foi 27,75 % superior à média de todas as populações, para os dois ambientes. Levando em consideração a testemunha comercial RS 20, na média dos dois ambientes, a população 2279X teve um peso de mil grãos 37,65 % maior do que a testemunha comercial. Além disso, a redução do peso de mil grãos entre um ambiente e outro pode ser observada para as populações 2279X, 2108A e a testemunha RS 20, cujas reduções foram de 9,41, 21,42 e 16,50 %, respectivamente.

Seledes et al. (2019) estimaram peso de mil grãos de 57,9 g para a população 2321A, em Florianópolis (4 m de altitude), enquanto, no presente estudo, a mesma população apresentou um peso de mil grãos de 71,5 g, para o ambiente mais baixo (410 m), e de 74,3 g, para o ambiente mais alto (745 m). A mesma tendência de aumento do peso de mil grãos com a elevação da altitude foi observada para as demais populações coincidentes nos dois estudos. A altitude tem um efeito direto sobre a temperatura, o que afeta a fotossíntese e respiração. Para o clima brasileiro, o milho semeado em maiores altitudes apresenta um ciclo mais longo e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos (Cruz et al. 2011). A redução no peso de mil grãos com a diminuição da altitude também foi observada por Tang et al. (2000), ao avaliarem o efeito da altitude sobre três híbridos de milho. Os autores observaram que dois deles apresentaram uma tendência de aumento no peso de mil grãos com o aumento da altitude, sendo que o peso de mil grãos a 600 m de altitude foi de 281,2, 255,6 e 261,1 g, enquanto para a altitude de 1.200 m, o peso de mil grãos foi de 297,6, 275,6 e 259,3 g, nessa ordem. O terceiro híbrido se mostrou mais estável com a mudança de altitude, não diferindo significativamente entre os demais. Entretanto, há um limite no aumento da altitude, pois acima dos 1.200 m, no estudo previamente citado, o peso de mil grãos voltou a reduzir para todos os híbridos. Essa característica, muitas vezes, está correlacionada com a capacidade de

expansão, principal característica de interesse em milho pipoca. Entretanto, valores muito elevados de peso de mil grãos são indesejados, sendo que valores intermediários (entre 130 e 160 g) são os mais recomendados para o milho pipoca (Sawazaki 1995; Miranda et al. 2003, Rangel et al., 2011).

Para a capacidade de expansão, principal característica de interesse do milho pipoca, as populações apresentaram valores interessantes (Tabela 10). No Brasil, para serem consideradas comerciais, as cultivares de milho pipoca devem atingir um valor de capacidade de expansão de, pelo menos, 15 mL g⁻¹ (Miranda et al., 2011). Nesse contexto, praticamente, todas as populações do presente estudo apresentaram valores de capacidade de expansão acima do estipulado comercialmente, com exceção das populações 2488A e 2423A. As populações que se destacaram, na média dos dois ambientes, foram 2393B (31,33 mL g⁻¹) e 977A (30,09 mL g⁻¹), as quais se diferenciaram significativamente das demais.

Em comparação com a testemunha comercial, as populações com maior capacidade de expansão foram, em média, 34,34 e 29,03 % superiores. Gonçalves et al. (2019), ao avaliarem o potencial de populações locais de milho pipoca de grãos brancos do EOSC, cultivadas em Anchieta (SC) e Florianópolis (SC), encontraram média de capacidade de expansão de 25,1 mL g⁻¹, para a variedade RS 20. Miranda et al. (2003) encontraram capacidade de expansão de 24,4 mL g⁻¹, para a variedade RS 20, em um estudo de potencial do milho pipoca para programas de melhoramento de variedades comerciais. Esses resultados indicam que a testemunha comercial RS 20 apresentou médias de capacidade de expansão próximas aos demais estudos da literatura.

Considerando que as populações locais do presente estudo não foram submetidas a nenhum processo de melhoramento genético convencional, como acontece em programas de melhoramento. Algumas populações, em especial 2393B e 977A (ambas de coloração branca), apresentaram destacado potencial para a capacidade de expansão, com valores acima de 30 mL g⁻¹, na média dos dois ambientes. As populações de grãos de coloração branca do EOSC têm se destacado para a capacidade de expansão, apresentando valores importantes, em diferentes estudos (Silva et al., 2016; Gonçalves et al., 2019).

10.6 CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS

As correlações fenotípicas foram significativas para 13 pares de características, em um total de 62 pares (tabela 11). Vale ressaltar que as correlações observadas para as populações do EOSC são fenotípicas, ou seja, há influência de fatores genéticos e ambientais.

O efeito do ambiente pode fazer com que correlações significativas em um ambiente possam não ocorrer em outro ambiente, ou até sinais contrários, sendo positiva em um local e negativa em outro (Cruz e Regazzi, 2001). Entretanto, as correlações fenotípicas podem ser úteis em tomadas de decisão dentro dos programas de melhoramento genético convencional, uma vez que, dentro de um conjunto de populações específicas, podem-se observar tendências de origem genética e, assim, planejar cruzamentos complementares em esquemas dialélicos.

No presente estudo, as características altura de planta, altura de espiga e índice AE/AP apresentaram correlações significativas, sendo a altura da planta correlacionada positivamente com a altura da espiga, e esta, por sua vez, correlacionada positivamente com o índice AE/AP.

Em relação à prolificidade, esta teve correlação positiva com número de grãos por fileira e índice de circularidade da cariopse. O índice de circularidade apresentou correlação positiva também com número de grãos por fileira, indicando que, para esse conjunto de populações, existe uma tendência de quanto maior o número de grãos por fileira, maior o valor do índice, menos proporcionais as dimensões do grão e, conseqüentemente, menos esférico o seu formato. A correlação negativa do número médio de grãos por fileira com o peso de mil grãos indica que quanto maior o número de grãos por fileira, menor será o peso de mil grãos. Essa relação é compreensível, uma vez que aumentando o número de grãos na fileira resta menos espaço para o crescimento dos grãos, reduzindo, assim, o seu tamanho total e alterando o formato final do grão. Gonçalves et al., (2019) estimaram correlação fenotípica positiva entre o índice de circularidade e a produtividade; entretanto, na presente pesquisa, essa correlação não foi observada.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson para as características índice altura de planta/altura de espiga (AE/AP), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), número de grãos por fileira (GF), índice de circularidade da cariopse (ICC), peso de mil grãos (PMG), produtividade (PROD), diâmetro de espiga (DE) e capacidade de expansão (CEX) entre elas e com outras três características (prolificidade - PROL, número de ramificações do pendão - NRP e comprimento de espiga - CE), a partir da média de onze populações locais do EOSC e a testemunha comercial RS 20, em duas altitudes (745 e 410 m)

Var.	AE/AP	AE	AP	GF	ICC	PMG	PROD	DE	CEX
PROL	0,022 ^{ns}	-0,071 ^{ns}	-0,156 ^{ns}	0,707*	0,716*	-0,817*	0,029 ^{ns}	-0,461 ^{ns}	-0,450 ^{ns}
NRP	0,202 ^{ns}	0,066 ^{ns}	-0,023 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,166 ^{ns}	-0,362 ^{ns}	-0,637*	-0,700*	0,005 ^{ns}
CE	-0,101 ^{ns}	0,321 ^{ns}	0,522 ^{ns}	-0,137 ^{ns}	-0,526 ^{ns}	0,622*	0,401 ^{ns}	0,391 ^{ns}	0,244 ^{ns}
AE/AP	-	0,846*	0,564 ^{ns}	0,556 ^{ns}	0,100 ^{ns}	0,367 ^{ns}	-0,117 ^{ns}	0,172 ^{ns}	0,583*
AE	-	-	0,906*	-0,375 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,472 ^{ns}	0,174 ^{ns}	0,332 ^{ns}	0,517 ^{ns}
AP	-	-	-	0,205 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,456 ^{ns}	0,325 ^{ns}	0,453 ^{ns}	0,370 ^{ns}
GF	-	-	-	-	0,608*	-0,767*	0,304 ^{ns}	-0,330 ^{ns}	-0,674*
ICC	-	-	-	-	-	-0,640*	0,234 ^{ns}	0,038 ^{ns}	-0,300 ^{ns}
PMG	-	-	-	-	-	-	0,237 ^{ns}	0,544 ^{ns}	0,474 ^{ns}
PROD	-	-	-	-	-	-	-	0,595 ^{ns}	-0,330 ^{ns}

* Significativo ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo.

O peso de mil grãos apresentou correlação positiva com comprimento de espiga, indicando que populações portadoras de espigas mais longas tendem a apresentar grãos mais pesados. Entretanto, essa característica apresentou correlação negativa com a prolificidade, índice de circularidade e número de grãos por fileira, para esse conjunto específico de populações analisadas.

A análise de correlação mostrou que a prolificidade e o peso de mil grãos são características que estão altamente e inversamente correlacionadas para esse conjunto de populações. Esses dados corroboram com Seledes et al. (2019) que, trabalhando com populações crioulas de milho pipoca da mesma região de Santa Catarina, encontraram as maiores prolificidades em populações de coloração preta, sendo também as populações com menor peso de 100 grãos. As populações 2279X e 2489E foram as que apresentaram a menor prolificidade, sendo que 2279X foi aquela que também apresentou o maior peso de mil grãos encontrado nesse trabalho.

A produtividade tem correlação inversamente proporcional à capacidade de expansão, sendo àquela considerada uma característica secundária (Miranda et al. 2003) para o consumidor, enquanto para o produtor, é a característica de maior interesse. No presente estudo, foi observada correlação negativa entre a produtividade e o número de ramificações do pendão, sendo que a população 2321A, que se destacou na média geral com o maior número de ramificações, também foi a população com a menor produtividade geral. O pendão

é considerado um dreno de fotoassimilados, que poderiam ser redirecionados aos grãos durante a fase de enchimento (Fischer et al., 1987). Entretanto, maiores pendões produzem uma maior quantidade de pólen e, por isso, torna-se uma particularidade benéfica para viabilizar uma polinização uniforme e bem-sucedida, em situações de estresse ambiental (Bolaños & Edmeades, 1996), tal como ocorrem frequentemente dentro de um contexto de conservação *on farm*.

A capacidade de expansão apresentou correlação positiva e significativa com AE/AP, ou seja, para as populações dessa pesquisa, há uma tendência de aumento da capacidade de expansão quanto maior o AE/AP. Ademais, a capacidade de expansão apresentou correlação negativa com o número de grãos por fileira, indicando que as populações deste estudo tendem a ter uma menor capacidade de expansão à medida em que os valores do índice de circularidade (ou seja, menos simétrico o grão) são maiores. Como mencionado anteriormente, valores próximos a 0,5 são mais desejados, sendo que a correlação entre circularidade e a capacidade de expansão já foi observada em outros estudos (Gonçalves et al., 2019), realizados com populações de milho pipoca de grãos brancos do EOSC. Assim, as populações deste trabalho com os maiores números de grãos por fileira e com grãos menos simétricos tendem a apresentar menores capacidades de expansão.

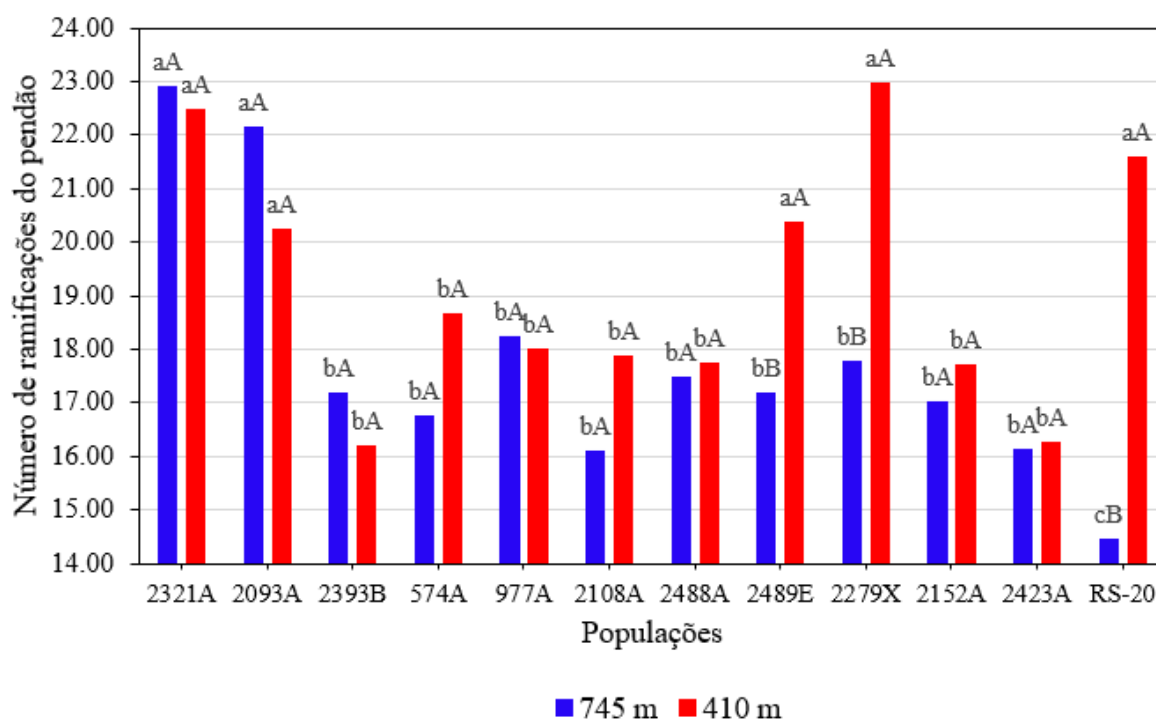
10.7 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE

A análise conjunta indicou que a interação genótipo x ambiente foi significativa para número de ramificações do pendão (figura 4), peso de mil grãos (figura 5), número de grãos por fileira (figura 6) e capacidade de expansão (figura 7). Tais resultados indicam que os genótipos tiveram respostas relativas diferentes para essas variáveis, em alguns casos, mudando inclusive o ranking de classificação e o comportamento relativo das populações com a mudança de altitude. Ao detectar interações significativas, é possível avaliar quais genótipos respondem de forma vantajosa às mudanças no ambiente de cultivo.

Quando verificada a interação genótipo x ambiente, é possível analisar a resposta das populações quanto aos aspectos relacionados à variação entre os ambientes (magnitude e direção) e o ranking. Considerando a magnitude da variação para as características em tela, que revela as diferenças relativas das médias entre as populações para cada ambiente, utilizando o gráfico da figura 4 como exemplo, ela aumentou para as populações 2423A e 2489E, reduziu para 2093A e 574A, ou ainda, permaneceu a mesma para 2423A e 977A. Nesse sentido, ainda pode-se verificar a direção da modificação provocada pela mudança de

ambiente, que foi oposta, quando aumenta um fenótipo e reduz outro (2489E e 2093A), ou igual (2279X e RS 20), quando aumenta ou reduz os dois fenótipos. Nessa última situação, há interação apenas quando o aumento ou redução não é de igual magnitude (Squilassi, 2003) ao mudar os genótipos de altitude. Quanto ao ranking (considerando duas populações entre si), ele pode permanecer igual ou inverter. Quando ele permanece igual, as populações com as maiores médias, no ambiente mais alto, permanecem superiores, no ambiente mais baixo (comparando, por exemplo, as populações 2093A e 574A). Quando o ranking dos tratamentos inverte com o ambiente, as populações com maior média, no ambiente mais alto, tornam-se inferiores, no ambiente mais baixo (como para as populações 2093A e 2279X, por exemplo).

Figura 4 – Análise conjunta para número de ramificações do pendão (NRP) para populações de milho pipoca do EOSC.



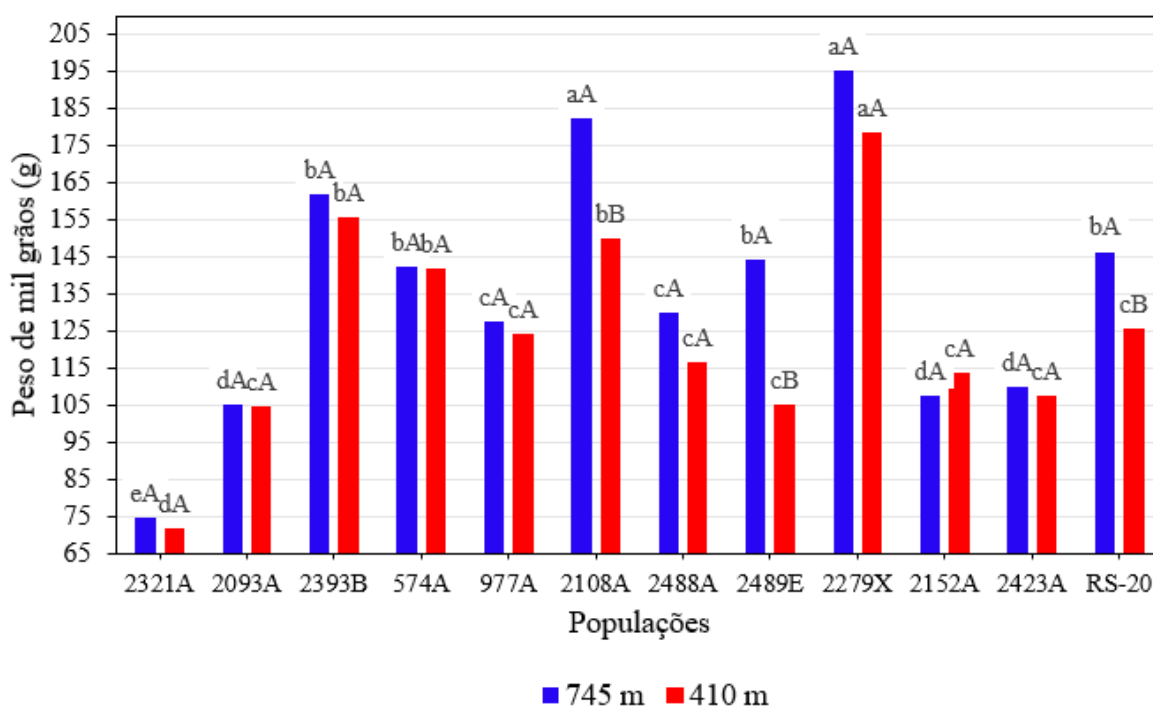
Letras minúsculas iguais entre barras de mesma cor não diferiram entre si para efeito de genótipos. Letras maiúsculas iguais entre pares de barras de cores diferentes não diferiram entre si para efeito de ambiente.

O número de ramificações do pendão, considerando a média dos ambientes, foi menor no local mais baixo. Os casos mais notáveis para essa característica ocorreram para as populações 2489E, 2279X e a testemunha comercial RS 20, com aumentos médios de 3,21, 5,18 e 7,13 ramificações a mais, no local de menor altitude. Adicionalmente, estudos indicam

que pode haver relação entre o número de ramificações do pendão e a temperatura, sendo que temperaturas mais baixas reduzem o número de ramificações do pendão (Bechoux et al., 2000). O local mais alto apresentou temperaturas médias menores, o que pode ter contribuído para a redução do número médio de ramificações do pendão para essas populações. Entretanto, a população 2093A apresentou uma redução no número de ramificações do pendão, no local mais baixo. Considerando que o número médio de ramificações do pendão é uma característica quantitativa controlada por muitos genes (Upadyayula et al., 2006), a previsibilidade do comportamento dessa característica para todas as variedades em diferentes ambientes é complexa, não podendo ser generalizada, assim como as demais características que apresentaram interação G x A.

Para as características peso de mil grãos e grãos por fileira, é possível observar que todas as populações apresentaram redução no peso de mil grãos, quando cultivadas no local de menor altitude (figura 5), com exceção da população 2152A. Entretanto, essa redução foi mais acentuada para as populações 2489E, 2108A e a testemunha comercial RS 20, com reduções de 37,44, 21,42 e 16,50 %, respectivamente.

Figura 5 – Análise conjunta para Peso de mil grãos (PMG) para populações de milho pipoca do EOSC.

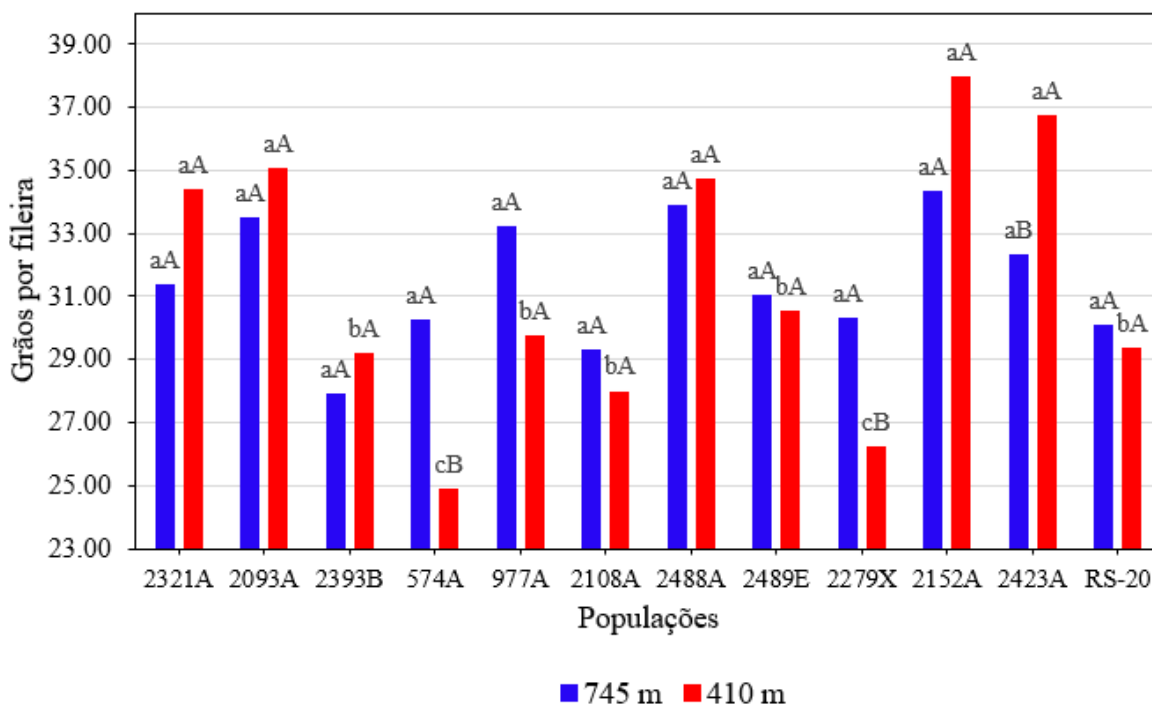


Letras minúsculas iguais entre barras de mesma cor não diferiram entre si para efeito de genótipos. Letras maiúsculas iguais entre pares de barras de cores diferentes não diferiram entre si para efeito de ambiente.

A única população que apresentou maior peso de mil grãos, no ambiente mais baixo, foi 2152A, tendo um aumento de 6,2 g, em relação ao ambiente mais alto. Entretanto, os casos mais notáveis ocorreram com as populações 2489E e 2108A, que apresentaram uma diferença de 39,2 e 32,1 g a menos, para o peso total de mil grãos, no local de menor altitude, sendo por isso as menos estáveis para essa característica. A testemunha comercial RS 20 também apresentou redução acentuada no peso de mil grãos, para o ambiente de menor altitude (20,7 g). Interações do tipo complexa indicam que quais populações devem ser regionalizadas, em nível de macro e microrregiões, sendo certas populações mais indicadas para determinados locais.

Para a característica número de grãos por fileira (figura 6), a interação também foi do tipo complexa, com alteração de ranking para algumas populações. As reduções mais acentuadas, no número de grãos por fileira com a redução da altitude, foram para as populações 574A, 2279X e 977A, enquanto as populações com os maiores aumentos, no número de grãos por fileira com a redução da altitude, foram para 2152A, 2423A e 2321A.

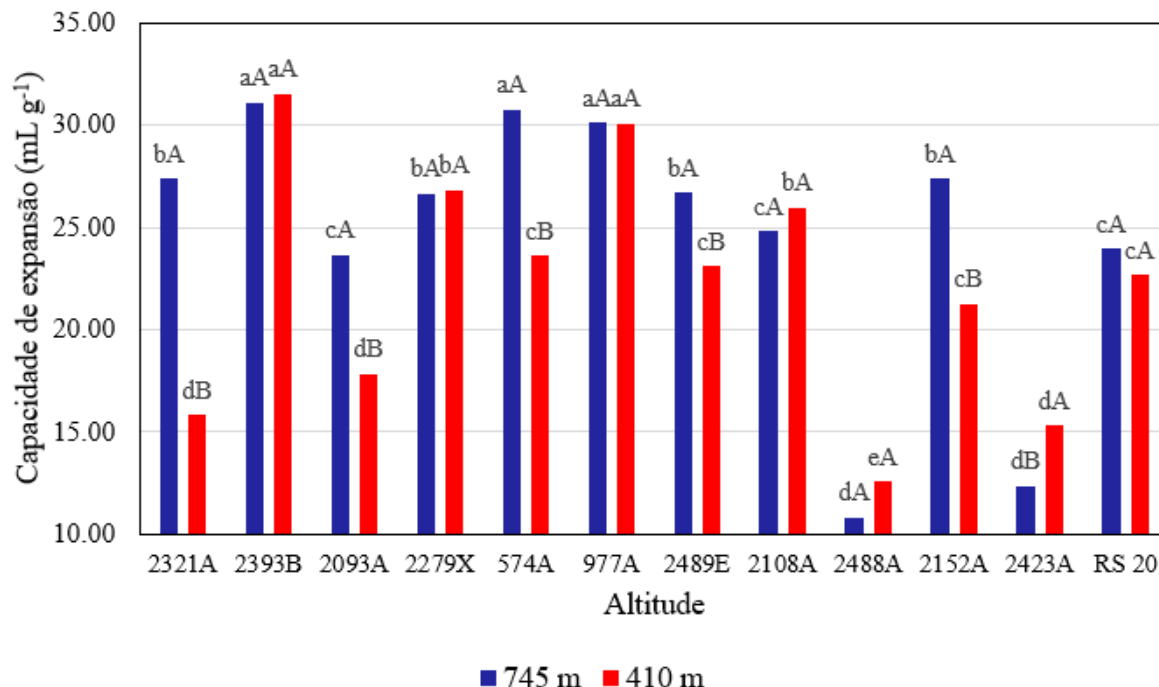
Figura 6 – Análise conjunta para número de grãos por fileira (GF) para populações de milho pipoca do EOSC.



Letras minúsculas iguais entre barras de mesma cor não diferiram entre si para efeito de genótipos. Letras maiúsculas iguais entre pares de barras de cores diferentes não diferiram entre si para efeito de ambiente.

Com relação à capacidade de expansão (figura 7), as populações 2393B, 2279X e 977A foram as mais estáveis, não apresentando grande variação entre um ambiente e outro. Entretanto, as populações 2321A, 2093A, 574A e 2152A apresentaram variações acentuadas entre os dois ambientes, sendo que o local mais alto foi mais favorável para essas populações quanto à capacidade de expansão. A população 2321A foi 73,08% superior no ambiente mais alto. Dado que a capacidade de expansão é a principal característica de interesse no milho pipoca, para o conjunto de populações do presente estudo, o ambiente mais elevado foi, em geral, mais favorável. Também foi possível observar inversão nos rankings, como por exemplo, as populações 2152A e 2108A, sendo 2152A superior a 2108A, no ambiente mais alto, porém inferior a 2108A, no ambiente mais baixo.

Figura 7 – Análise conjunta para capacidade de expansão (CEX) para populações de milho pipoca do EOSC.



Letras minúsculas iguais entre barras de mesma cor não diferiram entre si para efeito de genótipos. Letras maiúsculas iguais entre pares de barras de cores diferentes não diferiram entre si para efeito de ambiente.

Interação significativa, aliada a características ambientais de fácil previsão, pode indicar uma oportunidade de exploração do potencial dos materiais avaliados. Por ser uma condição natural, a interação dos genótipos com os ambientes faz parte do processo evolutivo das espécies e promove o surgimento de genótipos mais estáveis, aptos a ambientes específicos, ou genótipos com ampla adaptação (Vasconcelos et al., 2010; Chaves, 2001). Como na região do EOSC é comum a troca de sementes entre vizinhos e durante feiras de sementes (Costa et al., 2016), então, esse fator pode estar relacionado à resposta dessas populações às condições adversas de relevo da região, resultando em materiais com adaptações específicas a determinados ambientes ou com ampla adaptação (Cardoso et al., 2012).

Foi possível observar que os ambientes em que as populações foram cultivadas sob conservação *on farm* influenciaram as respostas dos genótipos tanto para características morfológicas, como para rendimento e capacidade de expansão. Entretanto, a mudança se deu dentro da mesma região, sendo a principal alteração ambiental a temperatura média do ar em função da altitude. O ambiente é responsável pelos fatores não genéticos que afetam o desenvolvimento das plantas (Borém & Miranda, 2013). Dessa forma, as diferenças observadas na temperatura do ar, em função da diferença de altitude, influenciaram no desempenho das populações. Houve populações que se destacaram para maior altitude e aquelas que se destacaram na menor altitude, para diferentes características.

A presença de interação genótipo x ambiente para características de interesse em populações de milho pipoca do EOSC indicam que esses genótipos locais respondem de forma diferenciada à mudança de altitude, mesmo dentro de uma pequena área geográfica. Levando em consideração o aspecto da manutenção da diversidade presente nos municípios de Anchieta e Guaraciaba, a indicação de variedades específicas para as altitudes próximas a 745 m e 410 m poderia contribuir para o incentivo do cultivo de populações mais adaptadas a cada ambiente. Vale ressaltar que das 15 características avaliadas, cinco apresentaram efeito significativo apenas do ambiente, o que significa que a mudança de altitude mudou a resposta média das populações da mesma forma, sendo o ambiente mais baixo menos vantajoso para essas características. Das características com interação, o peso de mil grãos e a capacidade de expansão são as mais importantes e, para essas, levar em consideração o local de cultivo pode garantir um melhor desempenho de determinadas populações.

Foi possível observar que as populações obtiveram variações distintas com a mudança de ambiente. A população 574A não apresentou significativa variação entre

ambientes, para o peso de mil grãos. Entretanto, para a capacidade de expansão, a variação foi notável. Essas respostas puderam ser observadas para todas as populações. Nesse sentido, considerando as características de interesse, populações que apresentam importante variação deveriam ser cultivadas no ambiente mais favorável para aquela característica. A capacidade de expansão é a principal característica de interesse no milho pipoca. Logo, a previsibilidade do seu comportamento, em função do ambiente de cultivo, pode ser um fator relevante dentro de uma abordagem de estímulo à conservação *on farm*. A população 2279X, por exemplo, apresentou variação entre ambientes para o número de grãos por fileira, enquanto a capacidade de expansão se manteve estável.

A pouca variação da população 2279X, para capacidade de expansão entre ambientes com diferentes altitudes, é uma particularidade importante, pois também foi uma população diferenciada das demais, no conjunto avaliado por Silva et al. (2016), caracterizando espiga e grãos, ficando isolada na análise de agrupamento. Esse resultado foi confirmado por Reichert et al. (2021), em estudo realizado com populações de milho pipoca da mesma região, incluindo características de planta e ciclo, além das características morfológicas associadas à espiga e ao grão. Populações como essa, com características únicas são muito mais suscetíveis à erosão genética, uma vez que não existem outras populações na região com características similares. Estratégias para manutenção da diversidade de plantas cultivadas são realizadas pelas organizações locais, na região, como feiras de sementes e distribuição de kits de diversidade. Os kits de diversidade já foram distribuídos em municípios do EOSC, principalmente em Guaraciaba (Canci et al., 2010), onde sementes de diversas espécies cultivadas na região foram distribuídas aos agricultores, com o objetivo de incentivar o plantio de cultivos locais e enriquecer a diversidade conservada *on farm*. Nesse contexto, os resultados dessa pesquisa podem ajudar na indicação de populações mais adaptadas às diferentes altitudes dos municípios da região, uma vez que podem ser recomendadas para cultivo populações adaptadas a alta ou a baixa altitude ou até populações adaptadas para ambas as altitudes. Vale ressaltar que, populações mais adaptadas apresentam menor risco de perda por ocasião da produção e consequentemente menor risco de erosão genética.

Uma outra alternativa para enriquecer a diversidade local seria a combinação de populações, visando a obtenção de compostos dentro de uma abordagem de melhoramento genético participativo. Populações compostas em milho são obtidas pelo intercruzamento e recombinação de duas ou mais variedades de polinização aberta (Lonnquist, 1961). Espera-se uma maior variabilidade genética, quando são combinadas populações de diferentes origens.

Nesse cenário, as populações 2489E, 2423A, 977A, 2321A, 2393B, 2108A e 2279X poderiam ser escolhidas para formação de compostos ou híbridos intervarietais. As populações 977A, 2393B e 2108A, de grãos brancos, tem boa capacidade de expansão, porém tendem a apresentar plantas altas e de ciclo tardio (Reichert et al., 2021), nesse sentido a população 2488A poderia ser incluída nos cruzamentos pois apresenta uma das menores alturas de planta e ciclo mais curto que as demais populações de grãos brancos (vide capítulo 1). Ainda, para as populações 2321A e 2093A, de grãos pretos, cruzamentos com populações como a 123B e 123C (vide capítulo 1) poderiam aumentar características como o peso de mil grãos e diâmetro do colmo. Manter os cruzamentos entre populações com a mesma coloração de grãos é fundamental para manter a diversidade dessas populações sem perder as características de interesse de seus mantenedores, uma vez que a maioria dos agricultores seleciona suas variedades por meio de espiga e grãos (Silva et al., 2016).

O cruzamento interpopulacional possibilita a análise da combinação entre as populações com bons desempenhos agronômicos e adaptativos, frente a diferentes condições de ambiente (Cruz e Regazzi, 2001). Adicionalmente, híbridos interpopulacionais podem apresentar adaptações diferenciadas a diferentes condições de ambiente, o que favorece a diversidade genética em cultivo e promove a conservação *on farm* de combinações alélicas importantes (Munarini, 2013, Souza, 2019).

Nesse sentido, um programa de melhoramento participativo pode contribuir para a obtenção de compostos que atendam aos interesses dos agricultores dos municípios do EOSC. Vale lembrar que o desenvolvimento de um programa de melhoramento participativo não tem o objetivo único de melhorar os materiais locais, mas também de difundir esses materiais entre os agricultores locais, visando fortalecer a conservação e evitar a erosão genética (Ogliari et al., 2007). Ainda, o cruzamento entre populações possibilita o melhoramento de características importantes em milho pipoca, formando novas combinações e evitando o afinilamento da base genética desse cultivo.

Ademais, a diversidade encontrada no EOSC poderia contribuir para os programas de melhoramento genético convencional de milho pipoca do Brasil. Isso é importante pois as populações dos programas de melhoramento convencionais brasileiros apresentam base genética estreita, além da limitação de cultivares que agreguem características agronômicas favoráveis e alto índice de capacidade de expansão (De Paula et al., 2010; Vittorazzi et al., 2013).

Assim, os resultados da presente pesquisa mostraram que, mesmo dentro de uma microrregião, a diferença de altitude resultou em comportamentos diferenciados das populações locais de milho pipoca, indicando que a seleção e manejo dos produtores e produtoras do EOSC resultam em diferentes adaptabilidades às condições de cultivo, gerando populações adaptadas a situações específicas, como a população 2321A cultivada em altitude de 715 m a 40 anos e que se mostrou adaptada a altitude de 745 m. Mas também, casos como a população 977A que, apesar de cultivada há 37 anos na mesma altitude (548 m), apresentou pouca variação entre os ambientes avaliados. Estudos anteriores identificaram que o fluxo de sementes nos municípios do EOSC é bastante dinâmico, com trocas entre vizinhos, feiras, obtenção por organizações locais e heranças familiares (Costa et al., 2016). A combinação do fluxo de sementes dentro dos municípios juntamente com o manejo dos produtores influencia na adaptabilidade das populações aos diferentes ambientes em que são cultivadas.

11 CONCLUSÕES

As populações de milho pipoca procedentes de Anchieta e Guaraciaba, no extremo oeste de Santa Catarina, apresentam variabilidade entre si para a maioria das características avaliadas, indicando a importante diversidade entre e dentro das quatro raças estudadas no presente trabalho. As populações 2423A, 2152A, 2488A e 2108A se destacaram em produtividade de grão dentre as populações avaliadas.

As características peso de mil grãos, número de ramificações do pendão e número de grãos por fileira apresentaram interação significativa entre genótipos e altitudes, indicando que as populações, em geral, apresentam comportamentos relativos distintos para essas características, com a mudança de ambiente, e que, por isso, o cultivo de algumas variedades pode ser mais indicado para altitude específica.

O ambiente de menor altitude de Anchieta-SC foi, de forma geral, menos vantajoso para o cultivo das populações locais, para grande parte das características. A média das populações para características de interesse foram menos vantajosas, no ambiente mais baixo, apresentando maiores alturas, menor produtividade e capacidade de expansão.

As populações de milho pipoca do EOSC apresentam importante diversidade para grande parte das características avaliadas, tendo potencial a ser explorado tanto em programas de melhoramento participativos como convencionais.

O potencial produtivo e a capacidade de expansão de algumas populações locais de milho pipoca indicam o potencial de uso desse germoplasma, principalmente em nichos de

mercado agroecológicos e orgânicos, podendo servir como incentivo para a valorização e uso desses materiais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. J. DE., SILVA, I. F. DA., SOUZA, R. F. DE. et al. Influência da adubação orgânica e densidade de plantio na produção do milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.20, p.17–21, 2015.
- ANDRADE, R. A. **Cruzamentos dialélicos entre seis variedades de milho pipoca**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996. 56p.
- AZAR, C., MATHER, D. E., HAMILTON, R. I. Maize landraces of the St. Lawrence-Great Lakes region of North America. **Euphytica**, v.98, p.141–148, 1997.
- BEAVIS, W. D., et al. Quantitative trait loci for plant height in four maize populations and their associations with qualitative genetic loci. **Theoretical and Applied Genetics**, v.83, p.141-145, 1991.
- BECHOUX, N., BERNIER, G., LEJEUNE, P. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize (*Zea mays* L.). **Plant, Cell & Environment**, v.23, p.91-98, 2000.
- BÓDI, Z., PEPÓ, P., KOVÁCS. Morphology of tassel components and their relationship to some quantitative features in maize. **Cereal Research Communications**, v.36, p. 353-360, 2008.
- BOLANOS, J.; EDMÉADES, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, v. 48, p. 65-80, 1996.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6ª edição. Viçosa: Editora UFV, 523p. 2013.
- BRACCO M., LIA V. V., GOTTLIEB A. M., CÁMARA H. J., POGGIO L. Genetic diversity in maize landraces from indigenous settlements of Northeastern Argentina. **Genetica**, v.135, p.39– 49, 2009.
- BRUNSON, A. M., SMITH, G. M. Hybrid popcorn. **Agronomy Journal**. v.37, p.176-183, 1945.
- CANCI, A; GUADAGNIN, C. A., GUADAGNIN, C. M. I., MOREIRA, A. **Origem e objetivos do kit diversidade de Guaraviaba – Estado de Santa Catarina – Brasil**. Disponível em: <http://base.d-p-h.info/en/fiches/dph/fiche-dph-8592.html>. Acesso em 18/08/2021
- CANCI, I. J.; BRASSIANI, I. A. **Anchieta: história, memória e experiência uma caminhada construída pelo povo**. Sao Miguel do Oeste: McLee, 2004. 418p.

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L.; ROCHA, L. M. P.; PACHECO, C. A. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONY, S. N.; OLIVEIRA, I. R. Identificação de cultivares de milho com base na análise de estabilidade fenotípica no Meio-Norte brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.346-353, 2012.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In.: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (eds.) **Recursos genéticos e melhoramento - Planta**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673 713.

CHEIM, L. M. G., COSTA, F. M., SILVA, N. C. A. S., CANEPPELE, C., CESAR, A. L. T. M. S., ROSSIGNOLI, P. A., FARIA, A. M. M. Characterization of the seeds of a landrace popcorn (*Zea mays* L. subsp. *mays*) cropped in an organic system via Family Farming. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1-22, 2021.

COIMBRA, R. R. Seleção entre famílias de meios-irmãos da população DFT1-Ribeirão de milho pipoca (**Selection between half-sib families in the DFT1-Ribeirão popcorn population**). Viçosa: UFV, 2000. 54p.

COSTA, F. M.; SILVA, N. C. D. A.; OGLIARI, J. B. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, p. 681-700, 2016

CRUZ, C. D. **Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 648 p. 2001.

CRUZ, J. C., MAGALHÃES, P. C., PEREIRA FILHO, I. A., MOREIRA, J. A. A. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / José Carlos Cruz ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 338 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa MG: UFV, 2001, 390p.

De PAULA, T. O. M. DE., GONÇALVES, L. S. A., AMARAL JÚNIOR, A. T. DO., et al. Magnitude of the genetic base of commercial popcorn and in recommendation in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.289–297, 2010.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FISCHER, K. S.; EDMÉADES, G. O.; JOHNSON, E. C. Recurrent Selection for Reduced Tassel Branch Number and Reduced Leaf Area Density above the Ear in Tropical Maize Populations 1. **Crop science**, v. 27, p. 1150-1156, 1987.

FREITAS, I. L. J., AMARAL JÚNIOR, A. T., VIANA, A. P., PENA, G. F., CABRAL, P. S., VITTORAZZI, C., SILVA, T. R. C. Ganho genético avaliado com índices de seleção e com REML/Blup em milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1464-1471, 2013.

GAMA, E. E. G., PARENTONI, S. N., LOPES, M. A., PACHECO, C. A. P. Variabilidade genética em populações de milho de ciclo superprecoce. I. Estimativa de parâmetros genéticos. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 23, p. 876-881, 1999.

GONÇALVES L. S. A., RODRIGUES, R., AMARAL JÚNIOR, A. T., KARASAWA, M., SUDRÉ, C. P. Comparison of multivariate statistical algorithms to cluster tomato heirloom accessions. **Genetics and Molecular Research**, v.7, p.1289-1297, 2008.

GONÇALVES, G. M. B., MAYER, L. B., DE SOUZA, R., OGLIARI, J. B. Yield and popping expansion components in local popcorn varieties from Southern Brazil. **Acta Agronômica**. v.68, p.213-221, 2019.

HAMMER Ø, HARPER D.A.T.; RYAN P.D. PAST: paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. **Palaeontol Electron**, 4:1-9. 2001.

KIST, B. B., FILTER, C. F., SANTOS, C. E. dos., CARVALHO, C. **Anuário brasileiro do milho 2018**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 88 p.

MAGALHÃES, P. C., DURÃES, F. O. M., CARNEI-RO, N. P., PAIVA, E. **Fisiologia da planta do milho**. Circular Técnica, v. 22, p. 1-23, 2002.

MAPA. Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. Normative Instruction nº 61 = Instrução Normativa nº 61, 22, 2011.

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. **Estimativa das médias das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar decendiais e anuais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2006 (Documento 224).

MELO, A.V., COLOMBO, G.A., VALE, J.C., SAN-TANA, W.D., FERNANDES, M.S. Estratégia de seleção entre progênies meios-Irmãos de milho pipoca no Cerrado tocaninense. **Brazilian Journal of Applied technology for Agricultural Science**, v.10, p.41-50, 2017.

MIRANDA, G. V., COIMBRA, R. R., GODOY, C. L., SOUZA, L. V., GUIMARÃES, L. J. M., MELO, A. V. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.681-688, 2003.

MONTGOMERY, K. Variation in Temperature with Altitude and Latitude. **Journal of Geography**, v.105, p.133-13, 2006.

OGLIARI, J. B.; SOUZA, R.; KAMPHORST, S. H.; GONÇALVES, G. M. B.; CANCI, A.; LAZZARI, L. Manejo e uso participativo de variedade crioula de milho como estratégia de conservação: experiência do Núcleo de Estudos em Agrobiodiversidade no Oeste de Santa Catarina. **Cadernos de Agroecologia**, v.8, p. 1-5, 2013.

OGLIARI, J. B.; ALVES, A. C. Manejo e uso de variedades de milho com estratégia da Conservação de Anchieta. In: Boef, W. S., Thijsen M. H.; Ogliari, J. B.; Stapit B. R. (Eds) **Biodiversidade e agricultores: fortalecendo o manejo comunitário**. L&PM, Porto Alegre, p 226-234, 2007.

ONER, F., GULUMSER, A. Determination of Some Agronomical Characteristics of Local Flint Corn (*Zea mays* L. *indurata*) Genotypes in The Black Sea Region of Turkey. **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi**, v. 1, p. 1800-1804, 2014.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PORDESIMO, L. O., ANANTHESWARAN, A. M., FLEISCHMANN, Y. E., HANNA, M. A. Physical Properties as Indicators of Popping Characteristics of Microwave Popcorn. **Journal of Food Science**. v.55, 1990.

RANGEL, M. M., AMARAL JÚNIOR, A. T., GONÇALVES, L. S. A., FREITAS JÚNIOR, S. P., CANDIDO, L. S. Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.473-481, 2011.

REICHERT JÚNIOR, F. W., OGLIARI, J. B., MAGHELLY, O. R., SOUZA, R. S. Relationship between phenological and morphological characteristics of plant with popcorn races of a diversity microcenter in southern Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, 2021.

RINALDI, D.A., CARPENTIERI-PÍPOLO, V., GE-RAGE, A.C., RUAS, C.F.; FONSECA JÚNIOR, N.S., SOUZA, A., SOUZA, S.G.H., GARBUGLIO, D.D. Correlação entre heterose e divergência genética estimadas por cruzamentos dialélicos e marcadores moleculares RAPD em populações de milho-pipoca. **Bragantia**, v.66, p.183-192, 2007.

RITCHIE, S.W., HANWAY, J.J., BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Informações Agronômicas, n.103, 2003.

SANGIOVO, M. J. R., BASSO, C. J., DREWS, A. T. N., PRIMON, A. M., SOUZA, F. M., GAVIRAGHI, L., BRONDANI, M. S. Produtividade de híbridos de milho pipoca submetidos a diferentes populações na semeadura. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 23, p. 1-7, 2020.

SAWAZAKI, E. **Milho pipoca**. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo. http://www.abms.org.br/eventos_antiores/cnms2010/palestras/010.pdf. 2010. Accessed 17 april 2019.

SAWAZAKI, E. Pipoca: Um Estouro. In: KIST, B. B., FILTER, C. F., SANTOS, C. E. dos., CARVALHO, C. **Anuário brasileiro do milho 2018**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 88 p.

SAWAZAKI, E. **Melhoramento do milho pipoca**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 21p.

SCAPIM, C. A., PACHECO, C. A. P., TONEI, A., BRACCINI, A. L., PINTO, R. J. B. Análise Dialélica e Heterose de populações de milho pipoca. **Bragantia**, v.61, p. 219-230, 2002.

SELEDES, R. M., OGLIARI, J. B., MELHORANÇA, E. A. L., DE SOUZA, R., OLIVEIRA, W. B. DOS SANTOS. Caracterização fenotípica de milho-pipoca conservado *in situ-on farm* no Extremo Oeste de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**. v.32, p.56-61, 2019.

SILVA, M. G. M., VIANA, A. P., AMARAL JÚNIOR, A. T., GONÇALVES, L. S.A., REIS, R. V. Biometria aplicada ao melhoramento intrapopulacional do maracujazeiro amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, 2011.

SILVA, N. C. DE A.; VIDAL, R. M.; OGLIARI, J. B. Diversidade de variedades locais de milho-pipoca conservada *in situ on farm* em Santa Catarina: um germoplasma regional de

valor real e potencial desconhecido. **Revista Agropecuaria Catarinense**, v.29, p. 78-85, 2016.

SOUZA, A. R. R.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, M. G.; FERREIR, P. L. Correlação de caracteres de uma população crioula de milho para sistema tradicional de cultivo. **Revista Caatinga**, v. 21, p. 183-190, 2008.

SOUZA, R. **Variedades locais de milho doce do Extremo Oeste de Santa Catarina: Caracterização, potencial agrônomo e estudo de base genética**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. 172 p.

SQUILASSI, M. G. **Interação de genótipos com ambientes**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2003, 47p.

TANG, Y., XU, Y., YUE, H., HOU, D., DONG, Y. Effect of altitude and mountain slope aspect on hybrid corn in Beichuan County. **Chinese Journal of Applied & Environmental Biology**, v.6, p.428-431, 2000

TIAN, Y., BURIK, P., and ECKHOFF, S. R. Effect of hybrid and physical properties of individual popcorn kernels on expansion volume. **Cereal Chemistry**, v.78, p.578–582, 2001.

UPADYAYULA, N., DA SILVA, H. S., BOHN, M. O., ROCHEFORD, T. R. Genetic and QTL analysis of maize tassel and ear inflorescence architecture. **Theoretical and Applied Genetics**, v.112, p. 592-606, 2006.

VASCONCELOS, E.S.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, T.; SCAPIM, C.A. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, p.411-415, 2010.

VITTORAZI, C., AMARAL JÚNIOR, A. T., GONÇALVES, L. S. A., CANDIDO, L. S., SILVA, T. R. C. Seleção de pré-cultivares de milho-pipoca baseado em índices não-paramétricos. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.356-362, 2013.

XIMENES, P. A., TORRES, M. C. L., PACHECO, C. A. P., COUTO, D. Avaliação de alguns aspectos qualitativos e quantitativos de cultivares de milho pipoca (*Zea mays* L.). **Anais das Escolas de Agronomia e de Veterinária**. v.25, p.115-121, 1995.

XUE-JUN, C., GUANG-CAI, C., QUN, S., DONG-BIN, W., CHEN, J., YA-XIONG, Y., LI, J., WEI, L. Altitude effects on maize growth period and quality traits. **Acta Ecologica Sinica**, v.33, p. 233-236, 2013.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E CAPACIDADE DE EXPANSÃO DE POPULAÇÕES LOCAIS DE MILHO PIPOCA DE UM MICROCENTRO DE DIVERSIDADE DO SUL DO BRASIL

RESUMO.

O extremo oeste de Santa Catarina (EOSC) é considerado um microcentro de diversidade do gênero *Zea*. Nessa microrregião, mais especificamente nos municípios de Anchieta e Guaraciaba, foi identificada uma importante diversidade de milho pipoca conservada *on farm*. Avaliar o efeito do ambiente sobre a qualidade culinária da pipoca é fundamental para compreender o comportamento dos genótipos quando há diferentes condições de ambiente. Esse trabalho teve por objetivo avaliar os componentes químicos e estruturais dos grãos de 11 populações locais de milho pipoca procedentes dos municípios de Anchieta e Guaraciaba, no EOSC. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos, em duas altitudes (410 e 745 m) de Anchieta, sob o delineamento experimental de blocos completos casualizados com quatro repetições. Após a colheita, foram avaliados o teor de proteína bruta, extrato etéreo (lipídios), cinzas, capacidade de expansão e espessura do pericarpo. Foram observadas diferenças entre os tratamentos e entre as altitudes, para todas as características avaliadas. Para o teor de proteína, todas as populações apresentaram maiores valores médios do que a testemunha comercial, quando cultivadas em maior altitude (745 m), variando de 11,56 a 14,32%. Para os lipídios, cinco populações apresentaram redução nos teores médios de lipídios (2321A, 2393B, 977A, 2108A e 2423A) com a redução da altitude. Para cinzas, duas populações aumentaram os teores médios (2488A e 2423A) com a redução da altitude, enquanto as demais ou aumentaram (2488A e 2423A) ou se mantiveram estáveis. Para a capacidade de expansão, duas populações apresentaram média acima de 30 mL g⁻¹ (977A e 2393B), nas duas altitudes. As populações com maiores espessuras de pericarpo foram aquelas que apresentaram maiores capacidades de expansão. Todas as características apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para o efeito da interação genótipo x ambiente, exceto para a espessura do pericarpo. As características que apresentaram interação foram do tipo complexa. A diferença de altitude influenciou as características físico-químicas das populações locais do EOSC, sendo a maior altitude, em média, mais favorável. Esses resultados são direta ou indiretamente importantes para o entendimento do efeito da altitude

sobre a expressão dos caracteres associados à qualidade culinária dos grãos, bem como para a definição de quais populações são mais favorecidas em determinadas altitudes.

Palavras-chave: Milho pipoca; Capacidade de expansão; Populações locais; Caracteres químicos.

12 INTRODUÇÃO

O milho pipoca (*Zea mays* L.) é um lanche muito popular no Brasil e no mundo, possui significativo valor comercial e seu consumo vem aumentando ao longo do tempo. Esse tipo de milho se caracteriza pela capacidade de expandir ao ser aquecido. Os maiores produtores de milho pipoca são os Estados Unidos, Brasil e China (Kist, 2018). No Brasil, o oeste do estado do Mato Grosso é responsável por cerca de 75% da produção nacional. Entretanto, parte significativa da semente de pipoca cultivada no Brasil é importada, devido à baixa disponibilidade de híbridos e variedades melhoradas nacionais (Ribeiro et al., 2016; Kist et al., 2018)

A capacidade de expansão é a principal característica de interesse no milho pipoca, seguida da produtividade (Arnhold et al., 2010). A primeira é definida como a relação entre o volume de grãos estourados e o peso de grãos utilizados (Vieira et al., 2009). Durante o aquecimento, a água presente nos grânulos de amido entra em estado de agitação, aumentando a pressão interna do grão. O vapor de água é inicialmente contido pelo pericarpo, mas quando a pressão interna chega a aproximadamente 930 kPa e a temperatura a 180°C, o pericarpo se rompe, expondo o amido gelatinizado que, ao entrar em contato com o ar, solidifica-se formando o floco de pipoca (Hoseney et al., 1983; Senhorinho et al., 2019). Diversos fatores químicos, físicos e estruturais são responsáveis pela capacidade de expansão dos grãos do milho pipoca e, conseqüentemente, pela sua qualidade culinária e valor comercial (Soylu & Tekkanat, 2006; Freire et al., 2020)

Além de conferir proteção ao endosperma, o pericarpo apresenta um papel importante na capacidade de expansão das pipocas, sendo que a sua espessura pode influenciar na quantidade de pressão interna acumulada para a expansão (Dong et al., 2015). Ademais, uma forte correlação entre a espessura do pericarpo e a expansão vem sendo reportada na literatura, indicando que pericarpos mais espessos resultam em maiores capacidades de expansão (Mohamed et al., 1993; Freire et al., 2020).

O teor de umidade interna do grão é outro fator crítico para uma boa capacidade de expansão, tendo influência direta na pressão exercida no interior do grão quando aquecido.

Umidade interna muito baixa não permite o alcance da pressão de vapor necessária para a expansão, enquanto umidade muito alta reduz a rigidez do pericarpo, diminuindo a capacidade de expansão. Estudos demonstraram que os valores máximos e ótimos de capacidade de expansão são atingidos quando a umidade do grão está em torno de 11 a 15,5% (Van der Sman et al., 2017; Allred-Coyle et al., 2000; Gökmen, 2004).

Além da umidade interna do grão e da espessura do pericarpo, a capacidade de expansão depende do tamanho dos grãos, peso de 1000 grãos, peso hectolitro, da composição química do endosperma e do genótipo (Karababa, 2006; Soyulu & Tekkanat, 2007). Dentre os componentes químicos, a composição amilácea, extrato etéreo e teor proteico do grão merecem destaque, em razão da importância dos seus efeitos sobre a capacidade de expansão (Park et al., 2000).

Existem variações na organização da composição química e estrutural do endosperma vítreo em genótipos de milho pipoca. Dentre os componentes químicos que apresentam função importante na capacidade de expansão está a proteína. O milho comum apresenta, em média, menos proteína bruta do que o milho pipoca (Luce et al., 1991; Park et al., 2000). A razão para o maior teor de proteína em milho pipoca é a presença de uma porção maior do endosperma ser do tipo vítreo, com apenas uma pequena porção de endosperma farináceo no centro. Em endospermas do tipo vítreo, os grânulos de amido são compactados juntos por meio de uma matriz proteica (Park et al., 2000; Freire et al., 2020).

Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), o teor médio de lipídios, em milho pipoca, é de 3,47%. A maior concentração de lipídios do grão se encontra no embrião, que possui 34,5% do total. Dentre os principais ácidos graxos encontrados em grãos de milho pipoca estão o ácido palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico, sendo os dois últimos correlacionados com a capacidade de expansão da pipoca (Borras et al., 2006).

A pipoca tem uma ótima qualidade nutricional, possuindo, em média, a cada 100 g de grãos, 10 g de proteína, 3,47 g de lipídios, 11,2 g de fibras alimentares e 76,4 g de carboidratos totais, além de valores importantes de magnésio (132 mg), fósforo (202 mg) e potássio (277 mg) (TBCA, 2020). Em razão do milho ser uma fonte de alimento muito relevante, avaliar a constituição dos grãos quanto ao valor nutricional é importante na exploração do potencial genético de diferentes genótipos. Assim, o germoplasma local é uma importante fonte de variabilidade genética, que pode ser fundamental para a identificação e desenvolvimento de materiais mais nutritivos (Berardo et al., 2009), bem como para a

ampliação da base genética dos programas nacionais de melhoramento de milho pipoca (Miranda et al., 2003; De Paula et al., 2010).

Os tipos de grão de milho pipoca mais comercializados são redondos, com endosperma amarelo ou alaranjado, geralmente pequenos (76-105 grãos a cada 10 g) e, quando estourados, são do tipo “borboleta” (Sweeley et al., 2012). No entanto, os grãos de pipoca apresentam muita variabilidade, inclusive em coloração (vermelhos, pretos, roxos, brancos, entre outros), cujo potencial comercial ainda é pouco explorado. Considerando que o consumo de alimentos pigmentados vem sendo incentivado nos últimos anos, devido à importância desses componentes para a saúde humana, a avaliação de materiais que apresentam características divergentes do padrão comercial se torna fundamental na identificação de genótipos de interesse (Rodriguez-Amaya, 2001; Paraginski et al., 2016), fora dos padrões vigentes. Além disso, pipocas de diferentes colorações apresentam compostos importantes para a saúde humana, com funções antioxidantes, que previnem doenças cardiovasculares, câncer, inflamações, entre outras (Barbosa et al., 2016).

O extremo oeste de Santa Catarina (EOSC) é uma microrregião do estado de Santa Catarina dotada de importante diversidade de populações locais de *Zea mays* L. conservada *on farm*, especialmente de milho pipoca. Essa particularidade da agrobiodiversidade catarinense, estudada nesta última década mais especificamente nos municípios de Anchieta e Guaraciaba, resultou na indicação da região como um microcentro do gênero *Zea* (Costa et al., 2016). Em uma pequena área de 558 km², foram identificadas 1.078 populações de milho pipoca. Um estudo realizado posteriormente por Silva et al. (2016), a partir de uma amostra de 70 populações de milho pipoca dessa mesma região, identificou uma importante diversidade entre as populações locais, facilmente distinguidas pelas características morfológicas associadas às espigas e aos grãos. A caracterização morfológica dos grãos mostrou que 38,6% das populações apresentavam cor de grão branco, 22,9% preto, 21,4% alaranjado, 4,3% púrpura, 4,3% bicolor (pretos e brancos, na mesma espiga), 2,9% amarelos, 2,9% marrons, 1,4% vermelhos e 1,3% bicolor (amarelo e branco, na mesma espiga). A partir desse mesmo estudo, cinco raças de milho pipoca foram identificadas na região, sendo três delas consideradas novas raças ainda não descritas na literatura.

Uma segunda particularidade do EOSC refere-se ao seu relevo acidentado. Particularmente, no município de Anchieta, cerca de 75% do relevo é considerado fortemente ondulado, com altitudes que variam de 400 a 900 m (Canci & Brassiani 2004). As diferenças de altitude causam alterações nas condições microclimáticas dessa área, principalmente com

relação à temperatura e radiação solar, sendo que, em média, há um decréscimo de 0,42 °C a cada 100 m de elevação, em estudos realizados no hemisfério norte (Montgomery, 2006). No sul do Brasil, estudos têm encontrado valores entre 0,68 a 0,9 °C a cada 100 metros, dependendo da época do ano (Fritzsos et al., 2008; Fritzsos et al., 2015).

Como o milho é uma planta responsiva à temperatura, essas diferenças causam alterações de comportamento, principalmente quanto ao ciclo. Yongjin et al. (2000) observaram que uma diferença de 100 m de altitude causou um aumento no ciclo de híbridos de milho de quatro dias. O efeito do ambiente sobre as características químicas dos grãos ainda não é adequadamente compreendido, sendo que a literatura apresenta resultados conflitantes para essa questão (Liu et al., 2005; Xue-jun et al., 2013).

A partir desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da diferença de altitude na composição química, espessura de pericarpo e capacidade de expansão, em populações locais de pipoca procedentes do microcentro de diversidade no EOSC, Sul do Brasil.

13 MATERIAL E MÉTODOS

13.1 MATERIAL VEGETAL E AMBIENTE EXPERIMENTAL

O material vegetal do presente estudo foi constituído por 12 tratamentos, sendo 11 populações locais de pipoca, conservadas *on farm* no EOSC, e uma testemunha comercial (Yoki), produzida pela Yoki (Tabela 12). As populações locais foram selecionadas a partir da dissimilaridade de características morfológicas de espiga e grão dos grupos formados no estudo de Silva et al. (2016) (Tabela 1). A testemunha foi selecionada por pertencer a uma das marcas mais consumidas no Brasil, e facilmente encontrada no comércio.

Tabela 12. Características das populações de milho pipoca do EOSC utilizadas no presente estudo e testemunha comercial Yoki.

IDV*	Formato do grão	Cor do grão	Altitude de origem	TP ¹ (anos)	IDV*	Formato do grão	Cor do grão	Altitude de origem	TP (anos)
2321A	Redondo	Preto	715 m	40	2488A	Redondo	Branco	830 m	4
2093A	Redondo	Preto	598 m	6	2489E	Redondo	Vermelho	837 m	38
2393B	Pontudo	Branco	588 m	5	2279X	Redondo	Vermelho	689 m	10
574A	Pontudo	Branco	522 m	8	2152A	Pontudo	Amarelo	690 m	5

977A	Pontudo	Branco	548 m	37	2423A	Redondo	Alaranjado	584 m	20
2108A	Pontudo	Branco	547 m	20	Yoki	Redondo	Amarelo	n/d	n/d

* Identificação IDV da população local do EOSC como acesso do banco ativo de germoplasma de milho (BAG Milho) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) ou nome da testemunha comercial da Yoki. IDVs acima de 2000 estão associados às populações locais oriundas de Anchieta (SC), enquanto IDVs abaixo de 2000, às populações locais de Guaraciaba (SC). n/d – Não disponível. ¹ Tempo na propriedade.

As amostras de grão das populações locais usadas para a realização das análises são provenientes de dois experimentos conduzidos em unidades familiares de produção, nas altitudes de 745 metros (26°31'03,18" S, 53°18'39,84" O) e 410 metros (26°35'03,13" S, 53°25' 30,04") do município de Anchieta, no EOSC, na safra agrícola 2018/2019. O clima da região é classificado como mesotérmico úmido (Cfa de Köppen), com temperatura média anual de 17,8 °C, precipitação pluviométrica anual de 1.700 a 2.000 mm. O solo da região é classificado como Cambissolo (EMBRAPA, 2013).

13.2 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO DE CAMPO E LABORATÓRIO

O delineamento experimental dos experimentos de campo, nas duas altitudes (745 e 410 metros), foi de blocos completos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três fileiras de quatro metros lineares de comprimento, espaçadas 0,8 m entre si, e com espaçamento de 0,2 m entre plantas. A área útil da parcela de 2,4 m² foi estabelecida a partir da fileira central, excluindo as bordaduras de cabeceira. A densidade final de plantas após o desbaste foi de 62.500 plantas ha⁻¹, estando assim dentro do intervalo recomendado para a cultura (Gama et al., 1990).

O preparo da área foi realizado no sistema convencional, com aração e gradagens. A adubação utilizada foi orgânica a base de esterco de peru, calculada a partir da análise de solo (SBCS 2016). O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual, conforme a necessidade.

Para as análises químicas (proteína, cinzas e lipídios), as onze populações locais foram avaliadas a partir de três repetições do experimento de campo. Para o teste de capacidade de expansão, os mesmos tratamentos foram avaliados, mas incluindo todas as quatro repetições do experimento de campo. Para a espessura do pericarpo, foram estudadas três repetições (um grão de cada repetição de campo) de cinco populações locais, classificadas

de alta (2), média (1) e baixa (2) capacidade de expansão. A testemunha comercial foi adicionada para efeito de comparação nas avaliações de todas as variáveis.

13.3 ANÁLISES QUÍMICAS

Após a colheita do experimento de campo, os grãos foram secos em estufa de circulação de ar forçado a 40 °C, até atingirem umidade de armazenamento $\approx$ 13%. Para a obtenção da farinha usada nas análises químicas, foram selecionadas dez espigas polinizadas manualmente (a partir da mistura de pólen coletado das plantas da própria unidade experimental. Dessas dez espigas de cada parcela, foram moídos 5 g de grãos de cada espiga e misturados para a obtenção de 50 g de farinha. Dessa forma, foram obtidas quatro amostras de 50 g por tratamento, derivadas de cada repetição do experimento de campo. Elas foram, então, liofilizadas e armazenadas em tubos Falcon vedados, armazenados a -20 °C, até o momento das análises.

Para a variedade testemunha, os grãos foram adquiridos prontos para o processamento, no comércio local. A umidade destes grãos foi testada e apresentou valores próximos aos 13%. Por não ter participado dos experimentos de campo, os dados obtidos da farinha da variedade testemunha foram utilizados apenas como valores de referência, não sendo incluídos nas análises estatísticas. Para a obtenção da farinha da testemunha, 50 g de três diferentes pacotes de pipoca foram moídos para a realização das análises. Os demais procedimentos de armazenamento e análise seguiram os passos dos demais tratamentos.

13.3.1 Proteína bruta

O teor de proteína foi determinado a partir do método de Kjeldahl (AOAC, 1990). Para o processo de digestão, pesou-se 0,1 g de amostra de farinha, em tubos digestores e, em cada tubo, adicionou-se 2 g de mistura digestora, composta de 10 partes de sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4), misturada com uma parte de sulfato de cobre pentaidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), juntamente com 7 ml de H_2SO_4 . Os tubos foram alocados em bloco digestor, acoplado a um scrubber, e aquecidos, permanecendo 30 min a 100 °C, 30 min a 150 °C, 20 min a 200 °C, 10 min a 250 °C e 40 min a 360 °C. Após o resfriamento, foram adicionados 10 ml de água destilada, em cada tubo. Um controle foi realizado apenas com reagentes, sem a amostra a fim de comparação.

Para o processo de destilação, cada amostra foi transferida para o destilador, adicionando-se 25 ml de NaOH 50%. Posteriormente, a amônia foi destilada por arraste,

utilizando 10 ml de solução receptora. Na presença de amônia, a solução tornava-se verde, e na ausência, permanecia rosa. Para a titulação, a solução receptora, contendo o nitrogênio da amostra, foi titulada com HCl 0,1 M, até a viragem de verde para rosa. O teor de nitrogênio foi obtido por meio da Equação 1, dado por:

$$N = \frac{(Va-Vb) \times M \times 0,014 \times 100}{ma \text{ (g)}} \quad (1)$$

Onde N é a quantidade de nitrogênio na amostra (mg/g); Va é o volume de HCl gasto na titulação da amostra (ml); Vb é o volume de HCl gasto na titulação do branco (ml); M é a molaridade do HCl; e ma é a massa de amostra adicionada aos tubos digestores (g).

Para a obtenção do valor de proteína bruta da amostra, o valor obtido na equação (1) foi multiplicado pelo fator de conversão de 6,25, considerando que as proteínas possuem, em média, 16% de nitrogênio (Silva; Queiroz, 2002).

13.3.2 Extrato etéreo

O teor de gorduras foi obtido a partir do método de Goldfish, que consiste na lavagem contínua da amostra com solvente apolar (Casagrande et al., 2010). Como reagente, utilizou-se o éter de petróleo. Para tanto, foram pesadas 1,5 g de amostra de farinha já seca, alocando-a em cartuchos de papel filtro. Em seguida, os beakers do equipamento foram secos em estufa por 2 h a 100 °C, para remoção da umidade e, em seguida, pesados para a obtenção do peso seco dos beakers. Eles foram então alocados no equipamento e adicionados 40 mL de éter petróleo. A seguir, os cartuchos com as amostras foram colocados no equipamento e mergulhados no éter. O equipamento foi, então, configurado para 90 °C, permanecendo nessa temperatura por 1 h e 30 min. Após esse período, as amostras foram suspensas, permanecendo por mais 30 min nessas condições. Em seguida, o processo de recuperação do éter foi iniciado. Após o resfriamento do equipamento, os beakers contendo a gordura das amostras foram retirados do equipamento e colocados em uma capela para evaporação do éter restante. Depois disso, os beakers foram levados até a estufa para evaporação de qualquer umidade restante. Os beakers foram, então, pesados para a obtenção do seu peso mais a gordura. A porcentagem de extrato etéreo foi obtida a partir da equação 2.

$$EE \% = \frac{(Pb-Pa) \times 100}{P} \quad (2)$$

Onde EE = Extrato etéreo (%); Pb é o peso do becker mais o extrato etéreo (g); Pa é o peso do becker seco (g) e P é o peso da amostra (g).

13.3.3 Cinzas

Para o teor de cinzas, os cadinhos de porcelana utilizados para a análise foram secos previamente a 105 °C por 2 h e alocados em dessecador até atingirem temperatura ambiente. A seguir, foram pesados e seu peso seco anotado. Então, 1 g de amostra de cada uma das populações foi adicionada nos cadinhos. Eles foram, então, colocados em forno mufla e as amostras incineradas a 600 °C por 2 h. Após atingirem temperatura ambiente, os cadinhos com as amostras incineradas foram pesados e seu peso anotado. O cálculo para o teor de cinzas foi baseado na equação 3.

$$C \% = \frac{(Pf - PCd) \times 100}{PA} \quad (3)$$

Onde: C = Teor de cinzas (%); Pf = Peso final (cadinho mais amostra incinerada); PCd = Peso do cadinho (vazio); PA = Peso da amostra.

13.4 CAPACIDADE DE EXPANSÃO

Para a obtenção da capacidade de expansão (CE), foi utilizado o método proposto pela Instrução Normativa nº 61 de 2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2011), com modificações. Foram utilizados uma amostra de 30g de grãos de 10 plantas de cada uma das quatro repetições dos experimentos de campo. Para o cálculo da capacidade de expansão, foi utilizada a equação 4.

$$PE = \frac{\text{Volume das pipocas estouradas}}{\text{Peso da amostra}} \quad (4)$$

13.5 MICROMORFOLOGIA DO GRÃO

Para a análise morfológica da espessura do pericarpo, foram selecionadas cinco populações a partir dos resultados da análise de capacidade de expansão, sendo elas: duas populações com baixa capacidade de expansão, duas populações com alta capacidade, uma população com capacidade intermediária e a testemunha comercial Yoki. Foram selecionados um grão para três repetições de campo para cada uma das cinco populações. Um corte transversal foi realizado na região média de três grãos de três espigas diferentes (um grão por espiga) de cada população, cujas partes foram alocadas em stubs de alumínio, presas com fita dupla de carbono e recobertas com ouro. Foram realizadas observações em lupa de todas as amostras para que as imagens fossem obtidas da mesma região, em todos os grãos. A documentação fotográfica foi realizada com o uso de um microscópio eletrônico (JEOL JSM-6390LV), no Laboratórios de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal de Santa

Catarina no aumento de 200x. Para a obtenção dos valores da espessura do pericarpo, as imagens obtidas foram analisadas com uso do Software ImageJ®.

13.6 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de temperatura e precipitação do período de execução do experimento para a estação meteorológica localizada a 801 m de altitude foram obtidos do Centro de Informação de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia (Ciram) do Estado de Santa Catarina da Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri). Para as altitudes de 745 e 410 m, as temperaturas foram estimadas por meio da metodologia de equações (dependendo da altitude) desenvolvida para o estado de Santa Catarina (Massignam & Pandolfo 2006). Para tanto, foram utilizados os dados climáticos de quinze estações meteorológicas, para os cálculos de previsão das temperaturas para as altitudes dos experimentos.

13.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análises de variância por experimento (por local) e análise conjunta dos experimentos conduzidos nas duas altitudes. A priori, os dados foram submetidos às análises de homoscedasticidade, visando verificar se os dados cumpriam os requisitos para a análise de variância. Para a análise conjunta, também foi verificado se a relação dos quadrados médios residuais não ultrapassava a relação de 7:1 (Pimentel-Gomes 1985). Para verificar as relações entre espessura do pericarpo e capacidade de expansão, uma nova análise estatística foi realizada para a capacidade de expansão, mas desta vez usando apenas os dados das cinco populações selecionadas para análise de espessura do pericarpo.

As análises de variância individuais para cada ambiente foram realizadas considerando o modelo estatístico-matemático dado por: $Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$ onde: Y_{ij} é a observação do i-ésimo tratamento do j-ésimo bloco, μ é igual à média geral; t_i é o efeito do i-ésimo tratamento, cujo efeito é fixo; b_j é o efeito do j-ésimo bloco, suposto aleatório; e_{ij} é o efeito do erro experimental suposto aleatório. O modelo estatístico-matemático para a análise conjunta foi dado por $Y_{ijk} = m + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$, onde Y_{ijk} : valor fenotípico do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente e no k-ésimo bloco; m : é a média geral paramétrica; G_i : é o efeito do genótipo i, considerado fixo; B/A_{jk} : corresponde ao bloco dentro de ambiente no j-ésimo ambiente e no k-ésimo bloco; A_j : é o efeito do ambiente j, considerado

fixo; GA_{ij} : é o efeito da interação do i -ésimo genótipo com o j -ésimo ambiente, considerado fixo; e E_{ijk} : é o efeito do erro experimental associado à observação Y_{ijk} suposto aleatório.

Por meio da análise conjunta de variância, foram realizadas a comparação entre as médias dos tratamentos, de locais e interação $G \times A$. As variáveis que apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste F foram comparadas pelo teste de Scott-Knot, ao mesmo nível de significância.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional GENES (Cruz, 2013).

14 RESULTADOS E DISCUSSÃO

14.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS INICIAIS

Todas as variáveis estudadas apresentaram diferenças significativas entre tratamentos, nos dois ambientes (tabela 13). Para as características proteína total, lipídios totais, cinzas e capacidade de expansão, as diferenças foram significativas para os efeitos de tratamentos, ambientes e interação $G \times A$, pela análise conjunta (tabela 13). A variável espessura do pericarpo não apresentou interação $G \times A$ e, por isso, foram apresentados apenas os testes de médias das análises de variância realizadas individualmente para cada altitude (tabela 14).

Os coeficientes de variação para a análise conjunta do presente estudo foram de 2,07% para proteína bruta, 4,47% para lipídios, 1,46% para cinzas e 8,38% para capacidade de expansão. Para a análise da espessura do pericarpo, os CVs foram de 10,13% (745 m) e 7,91% (410 m). Piovesan et al. (2011) encontraram valores de 2,0 a 10,05 %, para os CVs, em análises de proteína bruta a partir da farinha de 15 híbridos comerciais de milho comum. Já Machado et al. (2018) encontraram CV de 6,44 %, analisando a proteína bruta da silagem de milho comum. Boen et al. (2007) encontraram CVs de 2,5 a 5,7%, em análises de proteína bruta de farinhas de milho comum. Nesse mesmo estudo, os valores do CV para extrato etéreo e cinzas variaram de 1,0 a 10,2% e de 1,9 a 9,9%, respectivamente. Assim, além de estarem de acordo com outros estudos, os CVs estão abaixo de 15%, indicando boa precisão experimental (Gurgel et al., 2013).

14.2 ANÁLISES QUÍMICAS DOS GRÃOS

As médias de tratamentos diferiram entre si para os teores de proteína bruta, com valores que variaram entre 14,32 a 11,56%, no local de maior altitude, e de 12,8 a 9,48%, no

local mais baixo. A população local 977A se destacou, apresentando os maiores valores de proteína bruta, para ambos os locais (14,32 e 12,80%). No local de maior altitude, esta população foi 10,40% superior à média, para aquele ambiente, e 31,37% superior à média da testemunha comercial Yoki. Na maior altitude, as populações locais apresentaram teores de proteína bruta superiores aos da testemunha comercial, sendo a média geral das populações superior à testemunha, em 19%. Na menor altitude, 9 das 11 populações locais foram superiores à testemunha. A análise conjunta indicou efeito significativo da interação genótipo x ambiente dessa característica.

Todas as populações obtiveram maiores valores no local mais alto. No entanto, é possível observar a interação entre as populações. Para as populações 2489E e 574A, houve uma inversão na classificação das variedades, uma vez que a população 574A foi superior à 2489E, no ambiente mais alto, mas inferior no ambiente mais baixo. Essas inversões podem ser observadas para todas as características que apresentaram interação G x A significativa. As populações que apresentaram as maiores diferenças entre os locais para o teor de proteína bruta foram as populações 2093A, 574A e 2423A, com valores 11,33, 22,68 e 24,02% superiores, no local mais alto, em relação ao ambiente mais baixo, respectivamente.

A temperatura pode afetar o teor de proteína nos grãos de milho, além de ser uma característica particular a cada genótipo. Bencze et al. (2005) verificaram que o aumento da temperatura resultou no aumento do teor de proteína, em alguns genótipos e redução em outros. Széles et al. (2018), por sua vez, notaram que, em anos de temperaturas mais amenas (17,3 °C), o teor de proteína dos grãos de milho comum foi de 9,56%, enquanto em anos de temperaturas mais elevadas (22,8 °C), o teor de proteína foi de 8,04%. O mesmo comportamento foi observado nas populações do EOSC, onde as aquelas cultivadas na maior altitude e menor temperatura média (745 m e 21,44 °C) obtiveram maiores valores, nos teores de proteína dos grãos (Tabela 13). Na média entre locais, a média das onze populações, no ambiente de maior altitude foi 12,97% superior ao ambiente de menor altitude. Luitel et al., (2020) também relataram correlação positiva entre a altitude e o teor de proteína, em grãos de variedades crioulas de milheto.

Comparativamente, as temperaturas mais amenas, em maiores altitudes, podem estimular a síntese de proteína nos grãos e a remobilização de órgãos vegetativos para os grãos, aumentando o teor de proteína. Entretanto, em menores altitudes, a temperatura mais alta pode reduzir o tempo de formação dos grãos, resultando em uma mudança na composição proteica (Diacono et al., 2012; Nadew 2018). Uma vez que o milho responde à temperatura

para concluir o ciclo, locais com maiores temperaturas encurtam o ciclo total da planta, o que pode reduzir o tempo da síntese de proteínas.

Os valores obtidos para as populações locais do EOSC estão acima dos descritos pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), que estipula um valor proteico bruto médio, em grãos de milho pipoca, de 10%. No geral, o teor de proteína bruta de milho pipoca está entre 12,2% (Miller, 1958) e 13,2% (Watt & Merrill, 1963), superior ao teor presente no milho comum, que está em torno de 6 a 8% (TBCA, 2020). Entretanto, estudos mais recentes têm reportado valores menores em amostras de milho pipoca comercializadas no Brasil, variando de 7,98 a 10,10% (Novaes et al., 2019). Essa variação nos teores de proteína e outros componentes químicos do milho apresentam diferenças entre genótipos (Farahnaky et al., 2013) e ambientes de cultivo.

O milho pipoca é um dos cereais mais proteicos, com valores superiores ao milho comum, trigo e aveia. Esse maior teor em relação a outros cereais está relacionado à matriz proteica, que mantém os grânulos de amido compactados no endosperma vítreo da pipoca, sendo essa compactação fundamental para a capacidade de expansão (Hoseney et al., 1983; Park et al., 2000; Tandjung et al., 2005). Apesar de fornecer boa quantidade de proteína, os cereais são, de forma geral, deficientes em aminoácidos, tal como a lisina e o triptofano. As principais proteínas presentes no endosperma do milho pipoca são do tipo prolaminas, também chamadas de zeínas. Entretanto, como consumida em pequenas quantidades diárias, a pipoca se destaca como um produto de baixo valor calórico, o que atende às expectativas daqueles que buscam lanches com essas características (Germani et al., 1997).

Tabela 13. Análise conjunta para os teores de proteína total, lipídios, cinzas e capacidade de expansão de populações locais do EOSC cultivadas em duas altitudes do município de Anchieta – SC na safra 2018/2019.

Pop.	Proteína (%)			Lipídios (%)			Cinzas (%)			Capacidade de Expansão (mL g ⁻¹)		
	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média
2321A	13,75 bA	12,35 aB	13,05 b	7,07 aA	5,76 aB	6,41 a	1,12 dA	1,13 dA	1,12 e	27,40 bA	15,83 dB	21,61 d
2393B	13,06 cA	12,49 aB	12,77 b	4,51 bA	3,59 dB	4,05 d	1,22 bA	1,24 bA	1,23 b	31,13 aA	31,53 aA	31,33 a
2093A	11,74 dA	9,48 fB	10,61 f	4,67 bA	4,85 bA	4,76 b	1,14 dA	1,11 dA	1,12 e	23,67 cA	17,82 dB	20,74 d
2279X	11,56 dA	11,05dB	11,30 e	4,39 bA	4,67 bA	4,53 c	1,24 bA	1,22 bA	1,23 b	26,66 bA	26,81 bA	26,73 b
574A	13,52 bA	11,02 dB	12,27 d	3,73 cB	4,49 bA	4,11 d	1,17 cA	1,10 dB	1,13 e	30,76 aA	23,63 cB	27,19 b
977A	14,32 aA	12,80 aB	13,56 a	4,40 bA	3,61 dB	4,01 d	1,19 cA	1,12 dB	1,14 e	30,12 aA	30,06 aA	30,09 a
2489E	12,75 cA	12,36 aB	12,55 c	4,01 cA	4,30 cA	4,15 d	1,24 bA	1,23 bA	1,23 b	26,71 bA	23,12 cB	24,91 c
2108A	13,79 bA	11,88 bB	12,83 b	4,47 bA	3,14 eB	3,80 e	1,30 aA	1,17 cB	1,23 b	24,83 cA	25,99 bA	25,41 c
2488A	12,82 cA	11,36 cB	12,09 d	3,76 cA	4,01 cA	3,88 e	1,14 dB	1,25 bA	1,19 c	10,82 dA	12,57 eA	11,69 f
2152A	12,93 cA	11,54 cB	12,23 d	4,46 bA	4,18 cA	4,32 c	1,22 bA	1,17 cB	1,19 c	27,37 bA	21,25 cB	24,31 c
2423A	12,44 cA	10,03 eB	11,23 e	4,60 bA	4,24 cB	4,42 c	1,24 bB	1,29 aA	1,26 a	12,37 dB	15,31 dA	13,84 e
Média	12,97 a	11,48 b		4,55 a	4,26 b		1,20 a	1,18 b		24,71 a	20,95 b	
Yoki	10,90			4,32			1,23			37,45		
Valor <i>p</i> ind. ^a	0,00*	0,00*		0,00*	0,00*		0,00*	0,00*		0,00*	0,00*	
CV% ind. ^b	1,81	2,25		3,72	5,18		1,55	1,35		7,20	9,54	
CV% conj. ^c	2,07			4,47			1,46			8,38		
<i>p</i> Gen. ^d	0,00*			0,00*			0,00*			0,00*		
<i>p</i> Amb. ^e	0,00*			0,00*			0,04*			0,00*		

<i>p</i> GxA. ^f	0,00*	0,00*	0,02*	0,00*
----------------------------	-------	-------	-------	-------

[†]Média de três repetições. [‡]Média de quatro repetições. Médias da combinação genótipo e ambiente seguidas por letras minúsculas iguais na vertical (genótipos) e maiúsculas na horizontal (locais) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise de variância conjunta de experimentos. Médias marginais (negrito) de genótipos na coluna e médias marginais de locais na linha seguidas por letras minúsculas iguais pertencem ao mesmo grupo para seus respectivos efeitos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise de variância conjunta de experimentos. ^a Significância da diferença entre tratamentos da análise individual. ^b Coeficiente de variação experimental da análise individual. ^c Coeficiente de variação experimental da análise conjunta. ^d Significância dos tratamentos pela análise conjunta. ^e Significância da diferença entre ambientes. ^f Significância da interação genótipo x ambiente extraída da análise de variância da análise conjunta.

Para o teor de lipídios, os valores ficaram entre 3,73 e 7,07%, no local de maior altitude, e 3,14 e 5,76%, no local de menor altitude. A população 2321A, portadora de grãos de coloração preta, destacou-se com o maior teor de lipídios, em ambos os locais. Os valores totais de lipídios, em milho pipoca de coloração preta, vermelha ou amarela, podem estar superestimados, em relação ao milho pipoca de coloração amarela e branca, uma vez que o método de extração Goldfish também extrai outros componentes, como os pigmentos (antocianinas e carotenóides) (Tang et al. 2011). Entretanto, no presente trabalho, as populações 2093A (coloração preta) e 2279X e 2489E (coloração vermelha) não apresentaram valores superiores ou fora do intervalo das demais, confirmando a superioridade da população 2321A, para teor de lipídios nos grãos.

Park et al. (2000), trabalhando com seis híbridos de milho pipoca, de coloração amarela, encontraram valores percentuais de lipídios entre 3,80 e 4,44%, com média de 4,21%. Já Novaes et al. (2019), trabalhando com cinco variedades comerciais de pipoca (todas de coloração amarela), encontraram teores de lipídios variando de 2,93 a 3,50%. Valores semelhantes aos estimados por Park et al. 2000 e superiores aos de Novaes et al. 2019 foram obtidos no presente estudo, cujas médias foram de 4,55 e de 4,25%, para os ambientes mais elevado e mais baixo, respectivamente. Vale ressaltar que as populações locais do EOSC apresentam teores de lipídios acima do valor fornecido pela TBCA, que é de 3,48%.

O comportamento dos genótipos para lipídios, em função da altitude, não foi a mesmo daquele observado para o teor de proteína bruta. Na média entre ambientes, o local de maior altitude apresentou maiores valores nos teores de lipídios (6,8% maior que no local de menor altitude); entretanto, apenas um genótipo apresentou aumento significativo no teor de lipídios com a redução da altitude (574A), uma vez que, para proteína bruta, todos os genótipos apresentaram redução com a redução da altitude. Estudos apontam que há uma tendência no aumento do teor de lipídios com a redução de altitude em milho (Xue-jun et al., 2013). Entretanto, no presente estudo, a média geral dos tratamentos foi maior, no ambiente mais elevado. A análise conjunta indicou interação genótipo x ambiente significativa para essa característica, o que significa que as populações apresentaram diferentes respostas relativas com a mudança de altitude.

Assim como para proteína, foi possível observar mudanças na classificação das populações com a mudança de ambiente. Por exemplo, a população 2108A apresentou redução de 29,75%, nos teores de lipídios, enquanto a população 2488A aumentou os teores

em 6,64%. Esse aumento e redução nos teores de lipídios das populações resultou em comportamentos diferenciais entre elas, sendo algumas beneficiadas e outras prejudicadas.

Na porção lipídica do grão, os ácidos graxos linoléico e linolênico são os principais, ambos não são produzidos pelo organismo humano (Paes, 2006; Novaes et al., 2019). Esses ácidos graxos são importantes para a saúde humana e são responsáveis por manter as membranas celulares e funções cerebrais sob condições normais. Além disso, eles participam da transmissão de impulsos nervosos e da transferência do oxigênio atmosférico para o plasma sanguíneo, síntese da hemoglobina e da divisão celular (Youdim et al., 2000; Martin et al., 2006).

Os teores de lipídios encontrados nas populações do EOSC indicam o potencial de uso como alimentos funcionais e de importância para a saúde. Os teores similares e, muitas vezes, superiores aos encontrados nas populações locais, em relação à testemunha comercial, mostram que as populações do EOSC podem ser uma importante fonte de componentes nutricionais.

Para os teores de cinzas, as populações do EOSC apresentaram média de 1,20%, no local de maior altitude (variando de 1,12 a 1,30%) e 1,18% (variando de 1,11 a 1,29%), no local de menor altitude. Na média dos dois locais, a população 2423A se destacou, com valor médio de cinzas de 1,26%, sendo 2,44% maior do que a testemunha comercial, que apresentou valor médio de cinzas de 1,23%. Os resultados da presente pesquisa estão de acordo com valores de outros estudos, tal como aquele conduzido por Miranda et al. (2011), que encontraram valores médios de cinzas em milho pipoca de 1,14 a 1,31%, no estado no Paraná.

A interação foi significativa entre genótipos e altitudes, havendo alteração de ranking entre as populações com a mudança de ambiente. A população 2108A apresentou teores de cinzas 11,11% mais altos, quando cultivada na maior altitude, enquanto a população 2488A apresentou valor 9,64% maior, na menor altitude.

Os minerais compreendem a fração de cinzas dos materiais orgânicos e, no milho pipoca, são encontrados, principalmente no embrião e na camada de aleurona, sendo afetados principalmente pelo tipo de solo e condições ambientais durante o cultivo (Gökmen et al., 2004). A temperatura e a umidade do solo podem influenciar nos teores de cinzas; entretanto, o genótipo apresenta importante papel nessa característica, uma vez que o tamanho e área superficial radicular podem mudar entre genótipos. Além disso, a atividade microbiológica do solo também contribui para a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A microbiologia

do solo pode apresentar diferenças mesmo em um mesmo tipo de solo, uma vez que o manejo feito ao longo do tempo pelos agricultores influencia na riqueza e atividade microbológica (Brouder & Volenec, 2008). Assim, a associação dos teores de cinzas com a temperatura não é tão clara como parece ser para a proteína bruta, uma vez que as condições e histórico do solo apresentam importante influência sobre essa característica. Sendo a interação resultante de um conjunto de fatores além da temperatura.

Quando a interação é significativa, a indicação das populações deve ser regionalizada, visto que as populações devem ser cultivadas nos ambientes em que apresentam o melhor desempenho. Levando em consideração o teor de proteína bruta, todas as populações mostraram tendência de maiores teores em altitudes próximas a 745 metros, porém as populações não apresentaram a mesma proporção de redução, sendo algumas com reduções mais acentuadas do que outras. Entretanto, para lipídios, cinzas e capacidade de expansão, dada a ocorrência de interação do tipo complexa, a tendência não é clara para todas as populações, sendo algumas beneficiadas pelo aumento da altitude e outras prejudicadas.

A composição química é um componente essencial em qualquer alimento. No caso da pipoca, a composição de lipídeos, principalmente os ácidos graxos, faz com que esse grão tenha importância na dieta humana. Com relação à proteína, o milho pipoca é considerado um dos cereais mais proteicos, possuindo maior teor médio de proteína do que o sorgo (10%), o milho comum (9%) e o trigo (10%) (TBCA, 2019). Quanto às cinzas, os principais nutrientes que compõe essa porção do grão são o potássio e o fósforo, com valores médios de 277 e 202 mg a cada 100 g de grãos (TBCA, 2019). O teor de fósforo em milho pipoca é superior ao da aveia (152 mg) e do milho comum (84,2 mg).

As populações locais de milho pipoca do EOSC possuem potencial nutricional, principalmente quando comparados aos valores médios da TBCA e valores obtidos em materiais comerciais. Esse fator é importante para o incentivo do cultivo e comercialização desses materiais, uma vez que o apelo pelo consumo de alimentos saudáveis, funcionais e de origem orgânica e ecológica tem aumentado significativamente, nos últimos anos.

14.3 ESPESSURA DO PERICARPO

Com relação à espessura do pericarpo (tabela 14, Figura 8), foram observadas diferenças entre as populações de baixa, média e alta capacidade de expansão. Da tabela 14, as populações 977A e 2393B se destacaram com maiores valores médios de capacidade de

expansão, para os dois locais, enquanto a população 2321A apresentou valores intermediários e as populações 2488A e 2423A foram aquelas que apresentaram as menores médias.

Tabela 14. Análise de variância individual (espessura do pericarpo) e conjunta (capacidade de expansão) de cinco populações com baixa, média e alta capacidade de expansão em duas altitudes do município de Anchieta – SC. Safra 2018/2019.

Pop.	Espessura do pericarpo (μm)			Capacidade de expansão (mL g^{-1})		
	745 m	410 m	Média	745 m	410 m	Média
2393B	78,66 b [†]	73,62 b	76,14	31,13 aA [‡]	31,53 aA	31,33 a
977A	95,55 a	80,72 a	88,13	30,12 aA	30,06 aA	30,09 a
2321A	55,58 c	50,68 c	53,13	27,40 bA	15,83 bB	21,61 b
2488A	47,27 d	42,03 d	44,65	10,82 dA	12,57 cA	11,69 d
2423A	49,42 d	50,95 c	50,18	12,37 cB	15,31 bA	13,84 c
Média	65,29 a	59,60 b		22,36 a	21,06 b	
Yoki	100,72			37,45		
Valor p^a	0,00*	0,00*		0,00*	0,00*	
CV% ^b	10,13	7,91		8,96	8,26	
CV% conj ^c	8,75			8,57		
p Gen. ^d	0,00*			0,00*		
p Amb. ^e	0,04*			0,04*		
p G x A ^f	0,31 ^{ns}			0,00*		

[†] Média de três repetições. [‡]Média de quatro repetições. Médias de quatro repetições. Médias da combinação genótipo e ambiente seguidas por letras minúsculas iguais na vertical (genótipos) e maiúsculas na horizontal (locais) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise de variância conjunta de experimentos. Médias marginais (negrito) de genótipos na coluna e médias marginais de locais na linha seguidas por letras minúsculas iguais pertencem ao mesmo grupo para seus respectivos efeitos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na análise de variância conjunta de experimentos. ^a Significância da diferença entre tratamentos da análise individual. ^b Coeficiente de variação experimental da análise individual. ^c Coeficiente de variação experimental da análise conjunta. ^dSignificância dos tratamentos pela análise conjunta. ^e Significância da diferença entre ambientes. ^f Significância da interação genótipo x ambiente extraída da análise de variância da análise conjunta.

As populações com maiores valores de espessura do pericarpo, na média dos dois ambientes, foram aquelas que apresentaram maiores valores de capacidade de expansão

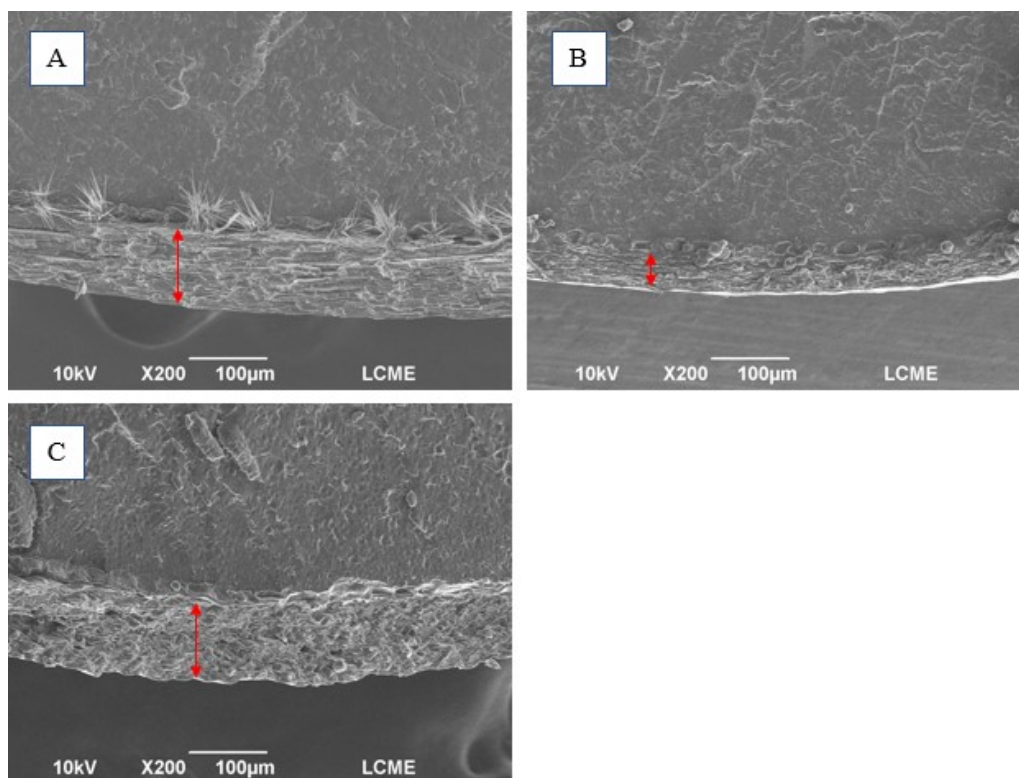
(Figura 5). A mesma tendência foi observada por Freire et al. (2020), trabalhando com progênies de meios irmãos em milho pipoca. Nesse estudo, as populações que apresentaram espessuras de pericarpo acima de 82,22 μm foram aquelas que obtiveram os maiores valores de capacidades de expansão. No presente estudo, os valores de espessura de pericarpo variaram de 47,27 a 95,55 μm , no local de maior altitude, e de 42,03 a 80,72 μm , no local de menor altitude. A testemunha comercial Yoki foi aquela que apresentou maior espessura de pericarpo, com 100,72 μm , e também maior capacidade de expansão.

A análise conjunta mostrou que o ambiente apresentou influência sobre essa característica, sendo que as populações foram beneficiadas com o aumento da altitude. No ambiente mais elevado, a média das populações para essa característica foi 9,5% superior à média do ambiente de menor altitude. Assim, a temperatura apresenta influência sobre a espessura do pericarpo. Tendo em vista que o milho em temperaturas mais elevadas apresenta redução no tempo necessário para completar o ciclo (Xue-Jun, 2013), a redução no tempo na formação do grão pode resultar em pericarpos mais finos.

As populações locais do EOSC de coloração branca e grãos pontiagudos tem se destacado em estudos de capacidade de expansão (Silva et al., 2016; Gonçalves et al., 2019). Na presente pesquisa as duas populações com as maiores capacidades de expansão foram populações brancas de grãos pontiagudos. Esses resultados mostram que populações com essas características tendem a apresentar bons resultados de expansão. Ainda, foram os materiais com os maiores valores de espessura de pericarpo.

Saito et al. (2021) avaliaram diferentes genótipos de milho (pipoca, duro e doce) e constataram uma forte correlação entre a espessura do pericarpo e a capacidade de expansão. Esse fator pode estar relacionado a maior organização estrutural da parede celular do milho pipoca comparado ao milho comum. Isso resulta em uma transferência mais rápida de calor dentro do grão que, quando combinada com um pericarpo mais espesso induz a um maior volume de expansão (Zerbetto, 1993; Saito et al., 2021).

Figura 8. Imagem da espessura do pericarpo de populações de milho pipoca do EOSC e uma testemunha comercial, obtida por microscopia eletrônica de varredura. (A) população 977A, com elevada capacidade de expansão (30,09 mL g^{-1}); (B) população 2488A, com baixa capacidade de expansão (11,69 mL g^{-1}); e (C) testemunha comercial Yoki, com capacidade de expansão de 37,45 mL g^{-1} .



O papel do pericarpo no processo de expansão da pipoca já vem sendo bem estabelecido na literatura (Hoseney et al., 1983; Mohamed et al., 1993; Freire et al., 2020). Esses estudos mostram que pericarpos mais finos podem romper antes do aquecimento ideal para gelatinização total do amido, o que gera uma pipoca parcialmente expandida. Mohamed et al. (1993), ao avaliarem 18 híbridos de pipoca, encontraram valores de espessura do pericarpo variando de 105 a 138 μm e correlação positiva desta característica com a capacidade de expansão. Quando o pericarpo se rompe, a água superaquecida dentro do grão evapora e rapidamente se difunde por meio de pontos de nucleação, criando a força motriz para a expansão da pipoca (Sweley et al., 2012). O pericarpo apresenta papel fundamental na capacidade de expansão, uma vez que serve como a barreira mais externa na contenção do vapor de água dentro do grão durante o aquecimento.

14.4 CAPACIDADE DE EXPANSÃO

Com relação à capacidade de expansão (CE), os tratamentos variaram de 10,82 mL g^{-1} a 31,13 mL g^{-1} , no ambiente mais alto, e de 12,57 mL g^{-1} a 31,53 mL g^{-1} , no ambiente mais baixo. A testemunha comercial Yoki apresentou o maior valor de capacidade de expansão, com média de 37,45 mL g^{-1} . Dentre as populações locais, aquela que apresentou maiores valores para a CE, nos dois locais, foi a população 2393B de grãos brancos e pontiagudos,

cuja média foi de 31,33 mL g⁻¹. A população 2488A, de grãos brancos, pequenos e redondos (tabela 2), apresentou os menores valores de CE, nos dois locais, com média de 11,69 mL g⁻¹.

A análise conjunta mostrou que houve diferença significativa entre os dois ambientes, sendo o local de maior altitude, com a maior média (24,71 mL g⁻¹), 17,94% superior ao ambiente de menor altitude. Entretanto, nem todas as populações foram beneficiadas com o aumento da altitude. As populações 2423A e 2488A, por exemplo, apresentaram desempenho inferior no local mais elevado. O efeito da altitude e, conseqüentemente, da temperatura, foi de magnitude maior nas populações 2093A, 574A, 2489E e 2152A, as quais diminuíram consideravelmente seus valores de capacidade de expansão, na menor altitude (tabela 13). A população 2321A foi aquela que apresentou a maior diferença entre os locais, sendo 73,08% superior, no ambiente mais alto, seguida das populações 574A e 2152A (30,17 e 28,8%). Já a população 2423A foi 23,76% superior, no ambiente de menor altitude.

Essa característica é influenciada por diversos fatores. Os componentes genéticos e ambientais estão entre os principais, assim como o manejo, na fase pós-colheita. Dentre os fatores químicos do grão, as proteínas têm papel importante. No endosperma vítreo (duro) do grão de milho pipoca, a matriz proteica é responsável pela compactação dos grânulos de amido, formando um perfil rígido. Essa compactação é importante na manutenção da umidade dentro do grão durante o aquecimento, aumentando a pressão dentro do grão (Park et al., 2000; Freire et al., 2020). Foi observado que as populações com os maiores valores de proteína bruta apresentaram altas capacidades de expansão. Entretanto, o inverso não foi observado, o que indica que outros fatores podem estar influenciando a capacidade de expansão desses materiais.

Não foram encontrados trabalhos que relacionem o conteúdo total de lipídios com a capacidade de expansão. Entretanto, trabalhos relacionando componentes específicos da porção lipídica da pipoca indicam uma correlação positiva entre ácidos graxos e a expansão, principalmente o ácido linoleico, sendo positivamente correlacionado com a expansão (Borras et al., 2006). Além disso, tendo em vista que a maior parte da fração de lipídios do grão de pipoca está localizado no gérmen (que praticamente não muda durante a expansão), sua relação direta com a capacidade de expandir das pipocas ainda não é claro (Sweley et al., 2013).

A capacidade de expansão é a principal característica de interesse no milho pipoca, e é definida pela razão entre o peso do grão e o volume final expandido (Arnhold et al., 2010). Bayomy (2017), avaliando pipocas de grãos vermelhos e amarelos sob diferentes métodos de

expansão (micro-ondas, panela e óleo e pipoqueira elétrica com e sem óleo), encontraram valores entre 23,22 e 27,03 mL g⁻¹, dentro da média encontrada para as populações do EOSC. Miranda et al., (2011) encontraram valores de capacidade de expansão entre 32,9 e 40 mL g⁻¹, para seis amostras de milho pipoca. Dessas seis amostras, quatro foram adquiridas no mercado e duas foram cedidas pelo programa de melhoramento da UEM. As pipocas cedidas pelo programa de melhoramento apresentaram capacidades de expansão de 32,9 e 33,1 mL g⁻¹. Esse resultado mostra o potencial culinário de algumas populações locais do EOSC, que apresentaram média de capacidade de expansão de 31,33 (2393B) e 30,09 mL g⁻¹ (977A). Além disso, é pertinente ressaltar que as populações locais do EOSC apresentaram maiores teores de proteína e lipídios, em relação aos materiais do estudo de Miranda et al., (2011).

Genótipos de milho pipoca portadores de grãos com elevada capacidade de expansão são, geralmente, mais desejáveis e associadas a pipocas de alta qualidade. Em locais de comercialização de pipoca, como no caso de cinemas, grãos de milho pipoca com elevada capacidade de expansão geram lucros, uma vez que a pipoca é comprada por peso e vendida por volume. Além disso, a maciez do floco de pipoca está associada a alta capacidade de expansão, sendo mais desejada pelos consumidores. Assim, pipocas com alta capacidade de expansão apresentam dois benefícios: aumento do lucro do produtor e preferência do consumidor (Song et al., 1991; Sweley et al., 2013). Nesse sentido, a pipoca comercial Yoki se destacou, sendo 19,5% superior à média da melhor população local (2393B), nos dois locais. Entretanto, levando em consideração que as populações locais não passaram por nenhum processo de melhoramento genético anterior, então, as capacidades de expansão de algumas populações, como 2393B e 977A, podem ser consideradas potencialmente interessantes para serem usadas como populações-base em ciclos de seleção recorrente. Além disso, essas populações apresentaram elevados valores de produtividade (vide capítulo 2), o que reforça o potencial de uso dessas populações.

No Brasil, para serem consideradas comerciais, as variedades de milho pipoca devem atingir um valor de capacidade de expansão de, pelo menos, 15 mL g⁻¹ (Miranda et al. 2011). No presente estudo, nove das 11 populações locais estudadas apresentaram valores de capacidade de expansão acima do requerido para o cultivo comercial. Assim, as pipocas do EOSC apresentam potencial de comercialização, o que pode incentivar o cultivo desses materiais como fonte de renda.

14.5 EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS

O presente estudo evidenciou que a diferença de altitude ocasionou alterações nos teores de proteína, lipídios, cinzas e capacidade de expansão das populações de pipoca do EOSC, provocando ainda interação significativa dos genótipos com as duas altitudes. A mudança de altitude resultou no aumento dos teores de lipídios e cinzas em algumas populações e reduções em outras. Para proteína bruta, todas as populações apresentaram maiores teores na maior altitude. Os fatores que levam a interação do genótipo com o ambiente podem ser, além da natureza genética, o manejo da cultura, a partir do componente humano e suas práticas de cultivo, ou condições edafoclimáticas como solo, intensidade luminosa, precipitação, temperatura do ar, entre outros (Garbuglio, 2018; Borém et al., 2017).

Sendo que diversos componentes edafoclimáticos podem contribuir de diferentes formas no comportamento das populações, saber exatamente o peso de cada componente para essas mudanças é extremamente complexo. Entretanto, sendo o milho uma planta que responde à temperatura para completar o ciclo, estudos evidenciam a importância desse fator no comportamento do milho. Nesse sentido a discussão sobre o papel da temperatura no comportamento das populações do EOSC é importante. No presente estudo, a variação de altitude acarretou diferenças na temperatura média (tabela 15). É conhecido que a redução na altitude causa o aumento na temperatura média (Montgomery, 2006) e que genótipos de milho podem apresentar sensibilidade às variações da temperatura, e essa sensibilidade se dá, principalmente, devido a fatores genéticos (Bergamaschi & Matzenauer, 2014). Diferentes genótipos podem apresentar genes que são favorecidos a diferentes condições de ambiente, principalmente em relação à temperatura e precipitação dos seus locais de origem (Landau et al., 2012).

Souza (2019), trabalhando com populações de milho doce do EOSC, verificou uma diferença de 1,8 °C entre locais, em média, com 295 m de diferença de altitude, sendo os locais mais baixos aqueles que apresentaram as temperaturas mais elevadas. No presente trabalho, os dois locais apresentaram diferença de 335 m de altitude e uma variação de 1,2 °C (tabela 15). Dado que o milho é uma planta responsiva à temperatura para completar o ciclo, essa diferença pode ter ocasionado alterações em seus processos fisiológicos, alterando os teores químicos do grão. Monjardino et al., (2005), verificou que o acúmulo de proteína nos grãos de milho foi reduzido com o aumento da temperatura na fase de enchimento de grãos, que pode estar relacionado à paralização da síntese de proteína, em períodos de temperatura elevada.

No EOSC, estudos anteriores comprovaram que as populações locais de milho apresentam adaptação específica à região, sugerindo melhor desempenho quando cultivadas em seu local de origem. O trabalho de Souza et al., (2021) constatou que as populações de milho doce do EOSC apresentaram melhores características agronômicas e morfológicas, quando cultivadas nessa região. O trabalho de Seledes (2020) evidenciou que os maiores teores de açúcares nos grãos de populações de milho doce ocorrem quando elas são cultivadas nas altitudes mais elevadas do EOSC, do que na região litorânea, em Florianópolis. O mesmo comportamento foi constatado por Gonçalves et al. (2019), avaliando características agronômicas em populações locais de milho pipoca de grãos; por Vásquez Ávila (2018), ao avaliar o perfil químico parcial em grãos de populações de milho pipoca cultivadas na região de origem (EOSC) e no Litoral (Florianópolis).

Estudos têm apresentado resultados contrastantes quanto à influência de componentes ambientais, como a temperatura, nos teores de lipídios e outros componentes do grão, indicando que os genótipos se comportam de forma distinta, em relação à mudança no ambiente (Xue-jun, 2013; Liu et al., 2005). Xue-jun (2013) não observou correlação entre altitude e teor total de proteína, em variedades de milho comum; entretanto, os valores totais de lipídios estimados naquele estudo foram mais baixos em locais de maior altitude.

Tabela 15. Temperatura média (°C) do município de Anchieta -SC, nas altitudes de 801 m (estação meteorológica), 745 m e 410 m, e precipitação (mm) do município durante o período de execução do experimento. Safra 2018/2019.

Mês	Temp. Média* (801 m)	Temp. Média** (745 m)	Temp. Média** (410 m)	Precipitação*	Média histórica (mm)***
Novembro/2018	21,3	21,6	23,1	268,20	175,8
Dezembro/2018	22,4	22,9	24,0	75,60	191,3
Janeiro/2019	23,9	24,4	25,7	217,00	202,8
Fevereiro/2019	21,7	21,8	23,5	194,40	185,1
Março/2019	20,8	21,5	22,1	116,40	157,8
Abril/2019	20,0	20,1	21,2	165,80	150,4
Maio/2019	17,4	17,8	18,7	302,20	148,7
Média Temp.	21,07	21,44	22,61		
Prec. Acum.				1.339,6	

Fonte: EPAGRI, 2020. * Valor observado na estação meteorológica. ** Média obtida a partir da metodologia de equações de (Massignam & Pandolfo 2006). *** Média dos dados históricos obtidos da estação meteorológica de São Miguel do Oeste.

Nesse sentido, considerando as características avaliadas, em geral, as populações foram beneficiadas com o aumento da altitude. Entretanto, tendo em vista a presença da interação, nem todas as populações foram favorecidas ou foram mais beneficiadas que outras. Considerando a capacidade de expansão como exemplo, esse comportamento pode ser observado quando uma população foi amplamente favorecida com o aumento da altitude (2321A), quando a altitude não influenciou na capacidade de expansão (977A) e quando o aumento da altitude até prejudicou a capacidade de expansão (2423A).

Não existem trabalhos que relacionem diretamente o efeito da temperatura do ambiente sobre a capacidade de expansão. Entretanto, como discutido nesse capítulo, a temperatura afeta diversos outros fatores que estão relacionados a capacidade de expansão do milho pipoca. Assim, o gradiente de altitude dos municípios daquela região do estado pode ter papel importante no comportamento das populações locais de milho pipoca, sendo esse fator, juntamente com o manejo dos produtores, fundamental para a dinâmica da diversidade local.

O presente estudo forneceu evidências sobre a importante diversidade das populações locais de milho pipoca do EOSC quanto à composição química, espessura do pericarpo e capacidade de expansão dos grãos, bem como os efeitos diretos ou indiretos da temperatura na expressão dessas características. Vale ainda ressaltar que os teores proteicos da maioria das populações locais analisadas foram maiores do que teores obtidos para a testemunha comercial, além de terem sido superiores aos teores obtidos em outros estudos realizados com cultivares comerciais. De um modo geral, os maiores teores de proteína bruta foram favorecidos pelas temperaturas mais baixas do local de maior altitude. As duas populações com os maiores valores de capacidades de expansão (2393A e 977A) também tiveram teores de proteína bruta elevados. A espessura do pericarpo também é outra característica que mostrou ter papel importante na expressão de elevada capacidade de expansão dos materiais estudados, além de ser favoravelmente afetada com a diminuição da temperatura. Já os teores de lipídios foram relevantes para duas (2321A e 2093A) das 11 populações do EOSC avaliadas no presente estudo. Para essa característica, de um modo geral, as populações locais também foram favorecidas pela menor temperatura do local de maior altitude. Vale ressaltar que a presença de interação no caso de lipídios, cinzas e capacidade de expansão indica que o benefício da redução da temperatura não foi igual para

todas as populações, sendo algumas beneficiadas e outras prejudicadas. Para proteína todas as populações foram superiores no local de maior altitude.

Os resultados dessa pesquisa geraram subsídios para o incentivo da comercialização desses materiais pelos agricultores locais, como alimentos de baixo teor calórico e de elevado potencial nutricional. Além disso, o presente estudo apresentou evidências da influência determinante da altitude na expressão das principais características buscadas em milho pipoca, que são aquelas associadas à qualidade culinária e nutricional dos grãos. Futuros estudos deveriam focar a atenção na influência dos componentes geográficos do território de origem do milho pipoca da região sobre as características que qualificam os grãos, considerando que ambientes favoráveis para a produção qualificada de produtos tradicionais poderiam contribuir para a agregação de valor comercial e, conseqüentemente, para a conservação das populações locais desse microcentro de diversidade de *Zea mays* L., identificado no extremo oeste de Santa Catarina.

15 CONCLUSÕES

As populações locais do EOSC apresentaram diferenças para teores de lipídios, proteína, cinzas, capacidade de expansão e espessura do pericarpo entre elas e entre ambientes, quando cultivadas em diferentes altitudes da sua microrregião de origem.

Todas as populações locais apresentaram teores de proteína superiores à testemunha comercial no ambiente mais elevado. A altitude apresenta influência sobre os componentes culinários do grão, indicando que maiores altitudes do município são benéficas a esses componentes.

Os teores de proteína foram maiores para todas as populações no local de maior altitude (745 m). Para os teores de lipídios e cinzas a média geral foi mais alta no local mais elevado, entretanto algumas populações apresentaram maiores valores em maior altitude, enquanto outras apresentaram maiores valores na menor altitude (410 m).

As populações locais 2393B e 977A apresentaram os maiores valores para capacidade de expansão em ambos os ambientes, sendo também as populações com maiores espessuras de pericarpo.

As populações do milho pipoca do EOSC apresentam diversidade entre si para todas as características avaliadas que podem ser explorada em programas de melhoramento genético.

REFERÊNCIAS

- A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC. 1990.
- ALMEIDA SILVA, N. C. De; VIDAL, R.; OGLIARI, J. B. New popcorn races in a diversity microcenter of Zea mays L. in the Far West of Santa Catarina, Southern Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, n. 6, p. 1191–1204, 2017.
- ARNHOLD, E., VIANA, J. M. S., MORA, F., MIRANDA, G. V., SILVA, R. G. Inbreeding depression and genetic components for popping expansion and other traits in Brazilian populations of popcorn. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.37, p. 125-132, 2010.
- ÁVILA, L. N. V. **Caracterização de variedades crioulas de milho pipoca do extremo oeste de santa catarina por espectroscopia vibracional de infravermelho próximo**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. p. 77. 2018.
- BARBOSA, N. A., LOPES, R. C. O., PAES, M. C. D. **Compostos bioativos nos grãos de milho pipoca antes e após o processamento**. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo. 2016.
- BAYOMY, H. M. Sensory, Nutritional and Popping Qualities of Yellow and Purple Popcorn. **Journal of Food and Dairy Sciences**, v. 8, n. 8, p. 361–367, 2017.
- BENCZE, S.; VEISZ, O.; BEDŐ, Z. Effect of Elevated Co₂ and High Temperature on the Photosynthesis and Yield of Wheat. **Cereal Research Communications**, v. 33, n. 1, p. 385–388, 2005.
- BERARDO, N. *et al.* Characterization of Maize Germplasm for the Chemical Composition of the Grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 6, p. 2378–2384, 2009.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.
- BORRAS, F. *et al.* Relationship Between Popcorn Composition and Expansion Volume and Discrimination of Corn Types by Using Zein Properties. **Cereal Chemistry Journal**, v. 83, n. 1, p. 86–92, 2006.
- BROUDER, S. M., VOLENEC, J. J. Impact of climate change on crop nutrient and water use efficiencies. **Physiologia Plantarum**, v.133, p. 705-724, 2008.
- CANCI, I. J.; BRASSIANI, I. A. **Anchieta: história, memória e experiência uma caminhada construída pelo povo**. Sao Miguel do Oeste: McLee, 2004. 418p.
- CASAGRANDE, M.; HULLER, C.T.; ZANELA, J. **Avaliação do reuso do éter de petróleo resultante da primeira extração da análise de extrato etéreo**. In: seminário: sistemas de

produção agropecuária - ciências agrárias, animais e florestais, 4., 2010, Dois Vizinhos. Anais... Dois Vizinhos, 2010.

COSTA, F.; SILVA, N.; OGLIARI, J. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, 2017

CRUZ, D. C. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, p.271-276, 2013.

DIACONO, M., CASTRIGNANO, A., TROCCOLI, A., DE BENEDETTO, D., BASSO, B. Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: a multivariate geo-statistical approach. **Field Crops Research**, v.31, p. 1-14, 2012.

DONG, Y. *et al.* Dynamic Proteomic Characteristics and Network Integration Revealing Key Proteins for Two Kernel Tissue Developments in Popcorn. **PLOS ONE**, v. 10, n. 11, p. e0143181, 2015.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

FARAHNAKY, A.; ALIPOUR, M.; MAJZOBI, M. Popping Properties of Corn Grains of Two Different Varieties at Different Moistures. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 15, p. 771–780, 2013.

FREIRE, A. I. *et al.* Amylose content and micromorphology of popcorn progenies with different popping expansion volumes. **Ciência Rural**, v. 50, n. 2, 2020.

FRITZSONS, E., MANTOVANI, L. E., AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v.10, p. 49-64, 2008.

FRITZSONS, E., WREGE, M. S., MANTOVANI, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no rio grande do sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.16, p. 108-119, 2015.

GERMANI, R.; PACHECO, C.A.P.; CARVALHO, C.W.P. Características físicas e químicas dos principais cultivares de milho pipoca planados no Brasil., **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.40, p.19-27, 1997.

GURGEL, F. L., FERREIRA, D. F., SOARES, A. C. S. O. **Coeficiente de Variação como Critério de Avaliação em Experimentos de Milho e Feij o**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA. 2013, 120 p.

G KME N, S. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 357–362, 2004.

GONÇALVES, G. *et al.* Yield and popping expansion components in local popcorn varieties from Southern Brazil. **Acta Agronômica**, v. 68, p. 213–221, 2019.

HOSENEY, R. C.; ZELEZNAK, K.; ABDELRAHMAN, A. Mechanism of popcorn popping. **Journal of Cereal Science**, v. 1, n. 1, p. 43–52, 1983.

KARABABA, E. Physical properties of popcorn kernels. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 100–107, 2006.

KIST, B. B., FILTER, C. F., SANTOS, C. E. dos., CARVALHO, C. **Anuário brasileiro do milho 2018**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 88 p.

LUITEL, D. R., SIWAKOTI, M., JHA, P. K. Nutrients in finger millet and soil at different elevation gradients in Central Nepal. **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 1, p. 1-10, 2020.

MAPA. Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. **Normative Instruction nº 61** = Instrução Normativa nº 61, 22.

MILLER, D. F. **Composition of cereal grains and forages**. 1958. Disponível em: <<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300516763>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

MIRANDA, G. V., COIMBRA, R. R., GODOY, C. L., SOUZA, L. V., GUIMARÃES, L. J. M., MELO, A. V. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.681–688, 2003.

MIRANDA, D. S., SILVA, R. R., TANAMATI, A. A. C., CESTARI, L. A., MADRONA, G. S., SCAPIM, M. R. Avaliação da qualidade do milho pipoca. **Revista Tecnológica**, v.1, p. 13-20, 2011.

MOHAMED, A. A.; ASHMAN, R. B.; KIRLEIS, A. W. Pericarp Thickness and Other Kernel Physical Characteristics Relate to Microwave Popping Quality of Popcorn. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 2, p. 342–346, 1993.

MONJARDINO, P., SMITH, A. G., JONES, R. J. Heat Stress Effects on Protein Accumulation of Maize Endosperm. **Crop Science**, v.45, p. 1203-1210, 2005.

MONTGOMERY, K. Variation in Temperature with Altitude and Latitude. **Journal of Geography**, v. 105, n. 3, p. 133–135, 2006.

NADEW, B. B. Effects of climatic and agronomic factors on yield and quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) seed: a review on selected factors. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 6, p.1-10, 2018.

NOVAES, M. *et al.* caracterização física e química de grãos de milho pipoca comercializados no brasil. **Multi-Science Journal**, v. 2, n. 2, p. 75, 2019.

PAES, M.C.D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 75).

PARK, D. *et al.* Chemical Composition and Physical Characteristics of Unpopped Popcorn Hybrids. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 13, n. 6, p. 921–934, 2000.

PAULA, T. O. M. *et al.* Magnitude of the genetic base of commercial popcorn and in recommendation in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 289–297, 2010.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PIOVESAN, V., OLIVEIRA, V. De., GEWEHR, C. E. Milhos com diferentes texturas de endosperma e adição de alfa-amilase na dieta de leitões. **Ciência Rural**, v. 41, p. 2014–2019, 2011.

RIBEIRO, R. M. *et al.* Effect of recurrent selection on the variability of the UENF-14 popcorn population. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 123–131, 2016.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Foods**. ILSI Human Nutrition Institute. One Thomas Circle, NW, Washington DC, 20005-5802, 64, 2001.

SAITO, M. A., ALVES, A. V., KURITZA, D. DE PAULA., DE SOUZA, Y. P., MAIOLI, M. F. S. D., AMARAL JÚNIOR, A. T., BENTO, A. C., SCAPIM, C. A., PINTO, R. J. B. Influence of agronomic and kernel-related properties on popping expansion in popcorn. **Agronomy Journal**, v.1, p. 1-13, 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-RS/SC, 2004.

LIU, S.Y., S.T. DONG, C.H. HU, The study of latitude and altitude affecting to maize quality, **Journal of Maize Sciences**, v.13, 68–78, 2005.

SENHORINHO, H. *et al.* Genomic-Wide Association Study of Popping Expansion in Tropical Popcorn and Field Corn Germplasm. **Crop Science**, v. 59, 2019.

SILVA, D.J., QUEIROZ, A.C. **Análises de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

SMAN, R. G. M. VAN DER; BOWS, J. R. Critical factors in microwave expansion of starchy snacks. **Journal of Food Engineering**, v.211, p. 69–84, 2017

SOUZA, R. S., OGLIARI, J. B., SELEDES, R., MAGHELLY, O. R., REICHERT JUNIOR, F. W. Agronomic potential and indications for genetic improvement of sweet corn carrying

the sugary1 gene conserved on farm in southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.51, 2021.

SOYLU, S.; TEKKANAT, A. Interactions amongst kernel properties and expansion volume in various popcorn genotypes. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 336–341, 2007.

SWELEY, J. C.; ROSE, D. J.; JACKSON, D. S. Hybrid and environment effects on popcorn kernel physiochemical properties and their relationship to microwave popping performance. **Journal of Cereal Science**, v. 55, p. 188–194, 2012.

SZÉLES, A.; HARSÁNYI, E. The impact of environmental factors on the protein content and yield of maize grain at different nutrient supply levels. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 30, p. 764–777, 2018

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS-USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/BRASILFOODS (1998). Versão 5.0. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela>. Acesso em: 12/04/2021.

TANDJUNG, A. S. et al. Role of the pericarp cellulose matrix as a moisture barrier in microwaveable popcorn. **Biomacromolecules**, v.6, p.1654 -1660, 2005. Available from: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bm049220l>>. Accessed: Jul. 23, 2021.

TANG, D. *et al.* CO₂ biofixation and fatty acid composition of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella pyrenoidosa* in response to different CO₂ levels. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 3071–3076, 2011.

TRACEY ANNE ALLRED-COYLE, M. T., Ramses B. Toma, Wendy Reiboldt. Effects of moisture content, hybrid variety, kernel size, and microwave wattage on the expansion volume of microwave popcorn. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 51, n. 5, p. 389–394, 2000.

VIEIRA, R. A. *et al.* Desempenho agrônômico de novos híbridos de milho-pipoca no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 29–36, 2009.

WATT, B.K. AND MERRILL, A.L. Composition of foods. Agricultural Handbook No. 8. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, of palmyrah (*Borassus aethiopum* Mart.). **Journal asiatique des sciences et de la technologie**; v.4, 36-47, 1963.

XUE-JUN, C. *et al.* Altitude effects on maize growth period and quality traits. **Acta Ecologica Sinica**, v. 33, n. 4, p. 233–236, 2013.

YONGJIN, T. *et al.* Effect of altitude and mountain slope aspect on hybrid corn in Beichuan County. **Chinese Journal of Applied and Environmental Biology**, 2000. v. 6, n. 5, p. 428–431.

ZERBETO, M. **Aplicações da espectroscopia fotoacústica ao estudo de sistemas biológicos**. Tese de mestrado. UNICAMP. 2003. 87p.

ZIEGLER, K. E. Popcorn. In: Hallauer, A. (ed.), **Specialty Corn**. CRC Press, Boca Raton, p. 199–234, 2001.

16 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos capítulos I, II e III a partir dos estudos de morfologia, ciclo, componentes de rendimento, composição química, capacidade de expansão e espessura do pericarpo, mostram que existe significativa variabilidade entre as populações de milho pipoca da região do EOSC, para as características avaliadas. A caracterização morfológica de planta e avaliação de ciclo do capítulo I indicaram que pode existir uma correlação entre características de cor e formato de grãos com grupos heteróticos em pipoca, sendo essa informação de grande importância para o melhoramento genético do milho pipoca no Brasil.

Tendo em vista que as cultivares de milho pipoca não são distribuídas em grupos heteróticos complementares como ocorre no milho comum, a obtenção de materiais nacionais superiores é prejudicada. (Vittorazzi et al., 2018) estudando populações de milho pipoca do programa de melhoramento da Universidade Estadual do Norte Fluminense, a partir de marcadores genéticos identificaram possíveis grupos heteróticos nos acessos de milho pipoca estudados, principalmente no que diz respeito à coloração de grãos. Os resultados do capítulo I reforçam essa constatação, uma vez que os resultados indicam uma possível relação entre os grupos heteróticos e as características de grãos das populações do EOSC. Nesse sentido, próximas pesquisas deveriam focar na avaliação dos cruzamentos entre e dentro dos grupos formados a partir das avaliações dessa pesquisa, com o objetivo de encontrar maiores níveis de heterose e obtenção de híbridos intervarietais superiores.

Ainda, pensando na manutenção da diversidade local, cruzamentos entre populações com mesmas características de grãos podem ser interessantes para obtenção de compostos. O cruzamento entre populações com mesmas características de grãos visa a manutenção das principais características de seleção consideradas pelos agricultores locais, como a cor e formato dos grãos, arranjo das fileiras, espigas não “castiçadas”, entre outras (Silva et al., 2016). A formação de compostos é interessante na condição do EOSC pois são de fácil condução, possibilidade de formação de mais de um composto, cruzamentos com diferentes populações dos municípios e geração de variabilidade para o melhoramento e conservação.

Quando avaliadas para componentes de rendimento no capítulo II, as populações apresentaram boa produtividade e capacidade de expansão, demonstrando o potencial de uso desses materiais. As populações locais 2108A, 2423A e 2152A se destacaram em produtividade, com valores próximos a 4 t ha^{-1} . Para capacidade de expansão, as populações 2393B e 977A apresentaram valores acima de 30 mL g^{-1} , valores interessantes comparado a

outros estudos com variedades crioulas. Sendo a capacidade de expansão a principal característica de interesse no milho pipoca, as populações do EOSC apresentam valores próximos ou superiores aos estipulados para comercialização. O ambiente influenciou as características agrônômicas do milho pipoca, indicando importante papel do ambiente sobre o comportamento das populações locais.

As populações locais de pipoca apresentaram valores de proteínas superiores ao encontrado em materiais disponíveis no comércio e aos relatados em estudos com variedades comerciais de pipoca. O capítulo III mostrou que algumas populações apresentaram importantes valores para proteína bruta (977A) e lipídios (2321A), além de teores de cinzas próximos ou superiores a outros estudos. Além disso, foi possível observar uma relação entre a espessura do pericarpo e a capacidade de expansão. A presença de interação genótipo x ambiente indica uma resposta diferenciada das populações, sendo algumas beneficiadas e outras prejudicadas e, mesmo quando beneficiadas, nem sempre na mesma proporção. Isso é importante para a diversidade, pois gera adaptações a diferentes condições de ambiente.

Sendo uma região de relevo bastante acidentado, essas populações se distribuem em um abrangente gradiente de altitudes que contribuem para pequenas alterações no ambiente. Essas pequenas alterações resultaram em mudanças, principalmente na constituição química das populações de milho pipoca. Entretanto, mesmo em diferentes condições, as populações locais apresentaram “importantes” valores para proteína e lipídios.

Como apontado por outros trabalhos do Núcleo de Estudos em Agrobiodiversidade da UFSC, características químicas e morfológicas das populações de milho pipoca são fortemente influenciadas quando cultivadas em regiões ambientalmente contrastantes (Anchieta e Florianópolis) (Gonçalves et al., 2019; Vásquez Ávila, 2018; Souza et al., 2021). O presente estudo mostrou que para características morfológicas e componentes de rendimento, as alterações no ambiente dentro da região de origem apresentam influência sobre a expressão dessas características, indicando que mesmo dentro da região de origem, o ambiente apresenta papel importante.

Assim, considerando os resultados dos capítulos II e III, onde as mesmas populações foram avaliadas para potencial agrônômicos e qualidade culinária, fica claro o potencial desses materiais para a comercialização. Tendo em vista a qualidade culinária observada nas populações do EOSC, esses acessos poderiam se tornar uma fonte de renda para os produtores, sendo comercializados como produtos oriundos da agricultura familiar com origem orgânica/agroecológica e que apresentam características culinárias relevantes quando

comparados a materiais encontrados no comércio. Próximas pesquisas poderiam focar em caracterizar os componentes químicos dos grãos das populações de pipoca do EOSC, visando identificar quais os principais aminoácidos presentes nos grãos de milho pipoca, quais os principais ácidos graxos da fração lipídica e quais os principais nutrientes presentes nesses grãos, com objetivo de enriquecer o conhecimento quanto ao potencial nutritivo das populações do EOSC. Ainda, avaliar o papel dos componentes geográficos na qualidade final do milho pipoca do EOSC pode apoiar a consolidação desses materiais como produto com qualidade diferenciada.

Assim, os resultados da presente pesquisa podem servir de subsídios para o planejamento de programas que visam o incentivo do uso, comercialização e conservação desses materiais, contribuindo para o desenvolvimento regional, pois demonstra o potencial das populações do EOSC para grande parte das características de interesse no milho pipoca.

REFERÊNCIAS

- ÁVILA, L. N. V. **Caracterização de variedades crioulas de milho pipoca do extremo oeste de santa catarina por espectroscopia vibracional de infravermelho próximo**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. p. 77. 2018.
- GONÇALVES, G. M. B., MAYER, L. B., SOUZA, R., OGLIARI, J. B. Yield and popping expansion components in local popcorn varieties from Southern Brazil. **Acta Agronômica**, v.68, p.213-221, 2019.
- SILVA, N. C. A., VIDAL, R., OGLIARI, J. B. New popcorn races in a diversity microcenter of *Zea mays* L. in the Far West of Santa Catarina, Southern Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.64, p.1191–1204, 2016.
- SOUZA, R. S., OGLIARI, J. B., SELEDES, R., MAGHELLY, O. R., REICHERT JUNIOR, F. W. Agronomic potential and indications for genetic improvement of sweet corn carrying the sugary1 gene conserved on farm in southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.51, 2021.
- VITTORAZZI, C., AMARAL JÚNIOR, A. T., GUIMARÃES, A. G., SILVA, F. H. L., PENA, G. F., DAHER, R. F., GERHARDT, I. F. S., OLIVEIRA, G. H. F., SANTOS, P. H. A. D., SOUZA, Y. P., KAMPHORST, S. H., LIMA, V. J. Evaluation of genetic variability to form heterotic groups in popcorn. **Genetics and Molecular Research**, v.17, p. 1-17, 2018.