

DAIANA SALLES PONTES

**DESEMPENHO DE GENÓTIPOS DE ALFAFA CONSIDERANDO MODELOS COM
DIFERENTES ESTRUTURAS DA MATRIZ DE COVARIÂNCIAS E NA ANÁLISE
MULTI-INFORMAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada e Biometria, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Cosme Damião Cruz

Coorientadores: Moysés Nascimento

Renato Domiciano Silva Rosado

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Pontes, Daiana Salles, 1989-

P814d
2020

Desempenho de genótipos de alfafa considerando modelos com diferentes estruturas da matriz de covariâncias e na análise muti-informação / Daiana Salles Pontes. – Viçosa, MG, 2020.

74 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Cosme Damião Cruz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Alfafa - Melhoramento genético. 2. Estabilidade.
3. Adaptabilidade. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Estatística. Programa de Pós-Graduação em
Estatística Aplicada e Biometria. II. Título.

CDD 22. ed. 633.312

DAIANA SALLES PONTES

DESEMPENHO DE GENÓTIPOS DE ALFAFA CONSIDERANDO MODELOS COM
DIFERENTES ESTRUTURAS DA MATRIZ DE COVARIÂNCIAS E NA ANÁLISE
MULTI-INFORMAÇÃO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Estatística Aplicada e Biometria, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

APROVADA: 15 de junho de 2020.

Assentimento:



Daiana Salles Pontes
Autora



Cosme Damiano Cruz
Orientador

*"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim."*

Chico Xavier

"Seja a mudança que você quer ver no mundo."

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela fé e força, essenciais na superação de todos os desafios.

Aos meus pais, especialmente, à minha mãe Maria pelo carinho e zelo dedicados à minha irmã e a mim, pelo apoio e encorajamento. Você é o meu maior exemplo de coragem e força.

À minha família, meu querido esposo e principal incentivador, Jadimilson e minha amada filha Maria Valentina, pela compreensão e paciência. Essa conquista não é só minha, é nossa. Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu orientador, Cosme Damião Cruz, pelo saber transmitido, pelo incentivo e força, pelas conversas, pelos conselhos, pela amizade e principalmente pela paciência.

Aos membros da banca examinadora agradeço pela disponibilidade, por terem aceitado o convite e pelas valiosas contribuições.

Aos meus coorientadores Renato Domiciano Rosado e professor Moysés Nascimento pelas contribuições ao longo do doutorado.

Aos colegas de doutorado, Vitor companheiro de estudos de longa data desde a graduação e à Carol amiga desde o mestrado. Obrigada pela amizade e parceria de todas as horas.

Aos colegas do Laboratório de Bioinformática pelos conhecimentos compartilhados e que muito contribuíram para a realização deste trabalho. Também pela amizade e companheirismo que transcendem os limites da UFV. Quero agradecer, em especial aos amigos: Isabela, Gabi, Laís, Iara, Marciane, Vinícius, Antônio Júnior (Junim), Renato, Wender, Ivan, Alexandre e ao nosso mentor e orientador Professor Cosme. Vocês são alguns dos muitos anjos que trouxeram luz à minha vida, que fizeram parte dessa minha trajetória e com quem tive a honra de compartilhar não apenas experiências acadêmicas, mas lindas histórias de vida. Gratidão!

E a tantas outras pessoas que fizeram parte da minha breve estadia em Viçosa, presentes que essa cidade inexplicavelmente transformadora me proporcionou e que colaboraram direta ou indiretamente na concretização desse importante ciclo da minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, particularmente ao Departamento de Estatística que por meio ótimos professores ofereceu um ensino de excelência contribuindo não apenas para minha formação profissional como também para o meu crescimento pessoal.

À Embrapa Pecuária Sudeste em especial ao pesquisador Reinaldo de Paula Ferreira pela parceria.

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

BIOGRAFIA

DAIANA SALLES PONTES, filha de Josemar Reginaldo Salles e Maria das Graças Viana Salles, nasceu dia 3 de abril de 1989, em Vitória, Espírito Santo.

Em março de 2007, iniciou o curso de Estatística na Universidade Federal do Espírito Santo, concluindo-o em fevereiro de 2014.

Em março de 2014 ingressou no Mestrado *Stricto Sensu* no Programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada e Biometria na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concluindo-o em fevereiro de 2016.

Em 2015 foi aprovada em concurso público para o cargo efetivo de Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico na área de Matemática/Probabilidade e Estatística e tomou posse em dezembro de 2018.

Em março de 2016 ingressou no Doutorado *Stricto Sensu* no Programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada e Biometria na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 15 de junho de 2020.

RESUMO

PONTES, Daiana Salles, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2020. **Desempenho de genótipos de alfafa considerando modelos com diferentes estruturas da matriz de covariâncias e na análise multi-informação.** Orientador: Cosme Damião Cruz. Coorientadores: Moysés Nascimento e Renato Domiciano Silva Rosado.

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma das principais leguminosas forrageiras nos países temperados. Mundialmente, é considerada uma das mais importantes forrageiras, dado o seu potencial de produção de forragem e da sua adaptação a diversas condições ambientais. Neste estudo, os objetivos foram 1) quantificar a variabilidade genética e identificar genótipos superiores por meio da modelagem de diferentes estruturas para a matriz de erros e 2) propor a utilização de uma ficha de recomendação por meio da avaliação multi-informação de estabilidade e adaptabilidade. Foram utilizadas informações de 77 genótipos de alfafa, envolvendo um período de cultivo com 24 cortes (meses) consecutivos no período de 2015 a 2017. O delineamento utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, com três repetições. O caráter avaliado foi produção de matéria seca (PMS) (kg.ha⁻¹). Foram ajustados modelos considerando as matrizes: simetria composta, simetria composta heterogênea, auto-regressiva de 1ª ordem, auto-regressiva de 1ª ordem heterogênea, componente de variância e não estruturada. Para escolher a melhor matriz, utilizou o critério de AIC. Para comparar as produções médias dentro de cada corte utilizou-se o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. A persistência (S%) da PMS de genótipo foi estimada indiretamente pela proporção de cortes que este foi superior no teste de Scott-Knott. Na avaliação multi-informação considerou-se: a média geral, o potencial médio em diferentes condições ambientais (PM), a plasticidade, a medida da contribuição relativa para a interação, o índice de recomendação Annicchiarico, a adaptabilidade percentual, a estabilidade percentual, o padrão J de resposta do genótipo (PJR), o padrão campeão e o índice de recomendação centroide. A partir do modelo covariância simetria composta heterogênea (de menor AIC) foram indicados os genótipos 4, 21, 57, 61, 67 e 72 como os de maior persistência (S%) da PMS. Além disso, destaca-se que a análise de medidas repetidas considerando diferentes estruturas para a matriz de erros deve se preferida neste tipo de experimento, por considerar a natureza de dependência dos resíduos e por ter apresentado menor AIC do que os modelos de parcela subdividida no tempo. Na ficha de recomendação observou-se que o genótipo 21 se destacou para os parâmetros PM para ambiente

geral e favorável. Já para PM no ambiente desfavorável o genótipo 61 ficou em primeira posição. Apesar disso, o genótipo 61 apresentou desvio da regressão estatisticamente diferente a zero, indicando que seu grau de imprevisibilidade deve comprometer a indicação dessa cultivar (R^2 abaixo de 80%). A ficha de recomendação por meio da análise multi-informação proposta neste trabalho possibilita o melhorista a tomada de decisão na seleção de genótipos superiores de alfafa. A análise multi-informação possibilitou identificar o genótipo 21 como o mais promissor por apresentar superioridade relativa de PMS, de comportamento previsível e responsivo às variações ambientais, em diferentes cortes.

Palavras-chave: Alfafa. Melhoramento. Medidas Repetidas. Estabilidade. Adaptabilidade.

ABSTRACT

PONTES, Daiana Salles, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2020. **Performance of alfalfa genotypes considering models with different covariance matrix structures and in multi-information analysis.** Adviser: Cosme Damião Cruz. Co-advisers: Moysés Nascimento and Renato Domiciano Silva Rosado.

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is one of the main legumes in temperate countries. Due to the productive potential and its adaptation in different environmental conditions, it is considered one of the more important forage worldwide. The aims were 1) to quantify the genetic variability and to identify superior genotypes by adjusting different covariance structures and 2) to propose the multi-information evaluation by means of the use of a recommendation sheet that contains several parameters from methods of stability and adaptability. Data from 77 cultivars evaluated in twenty-four alfalfa cuts (months) were used. The cuts were performed from 2015 to 2017. The experiment was a three-replicate randomized complete block design. The evaluated trait was dry matter yield (DMY) (kg. ha⁻¹). Models were adjusted considering the following covariance structures: Compound Symmetric, heterogeneous composite symmetry, first-order Autoregressive, heterogeneous first-order Autoregressive, and Unstructured. To select an appropriate structure was used the Akaike Information Criterion (AIC). To compare the average yields within each cut, the Scott-Knott test was used, at 5% probability. The persistence (S%) of DMY of each genotype was indirectly estimated by the proportion of cuts which was superior in the Scott-Knott test. In the multi-information evaluation was considered the following parameters: general average, average potential under different environmental conditions (AP), plasticity, the measure of the relative contribution to the interaction, the Annicchiarico recommendation index, percentage adaptability, percentage stability, the J pattern of genotype response (JPR), champion pattern and centroid recommendation index. From the heterogeneous composite symmetry covariance model (lowest AIC), were indicated the genotypes 4, 21, 57, 61, 67, and 72 as the most persistent (S%) of DMY. In addition, it is highlighted that the analysis of repeated measures for different covariance structures must be preferred for alfalfa data, because it considers the dependence of data and because it presented less AIC than the ANOVA models with two and three error. In the recommendation sheet, it was observed that genotype 21 stood out for the AP parameters for a general and favorable environment. For AP in an unfavorable environment, genotype 61

was in first position. However, the genotype 61 showed a deviation from the regression statistically different to zero, indicating that its degree of unpredictability should compromise the indication of this cultivar (R^2 below 80%). By means of the recommendation sheet proposed in this study, the breeder can select the superior alfalfa genotypes throughout the multi-information analysis. The multi-information analysis made it possible to identify genotype 21 as the most promising for presenting a relative superiority of DMY, with predictable and responsive behavior to environmental variations, in different cuts.

Keywords: Alfalfa. Breeding. Repeated Measures. Stability. Adaptability.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REVISÃO DE LITERATURA	16
REFERÊNCIAS	18
CAPÍTULO 1	20
RESUMO	21
INTRODUÇÃO.....	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
1. Desempenho geral de cultivares de alfafa.....	27
2. Variabilidade genética entre cultivares de alfafa	31
2.1. Abordagem tradicional fundamentada em análise de variância em parcela subdividida no tempo	31
2.2. Abordagem fundamentada em diferentes estruturas do erro entre medidas sucessivas nos cultivares de alfafa	33
2.2.1. Comportamento da estrutura dos erros no período 1-24.....	33
2.2.2. Comportamento da estrutura dos erros no período inicial (cortes 1-8), intermediário (cortes 9-16) e final (cortes 17-24).....	34
2.3. Comparação do desempenho de genótipos de alfafa.....	35
2.4. Abordagem tradicional fundamentada no agrupamento de médias com erros estimados em análise de variância em parcela subdividida no tempo.....	35
2.5. Abordagem fundamentada no agrupamento de médias com erros identificados em estruturas variadas considerando as medidas sucessivas nos cultivares de alfafa.....	39
CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO 2	45
RESUMO	46

INTRODUÇÃO.....	47
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
<i>Descrição dos experimentos.....</i>	<i>49</i>
<i>Recomendação de genótipos baseada em análise multi-informação.....</i>	<i>50</i>
1) <i>Média geral.....</i>	<i>52</i>
2) <i>Potencial médio em diferentes condições ambientais.....</i>	<i>52</i>
3) <i>Plasticidade.....</i>	<i>52</i>
4) <i>Medida da contribuição relativa para a interação.....</i>	<i>53</i>
5) <i>Índice de recomendação Annicchiarico.....</i>	<i>54</i>
6) <i>Adaptabilidade percentual ou capacidade de resposta do genótipo i.....</i>	<i>54</i>
7) <i>Estabilidade percentual ou previsibilidade.....</i>	<i>55</i>
8) <i>Padrão J de resposta do genótipo.....</i>	<i>55</i>
9) <i>Padrão de campeão.....</i>	<i>56</i>
10) <i>Índice de recomendação centróide.....</i>	<i>57</i>
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74

INTRODUÇÃO GERAL

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma das principais leguminosas forrageiras nos países temperados (Annicchiarico et al., 2015; Ferreira et al., 2008). Esta forrageira é utilizada para a alimentação de rebanhos leiteiros especializados pois apresenta alto valor nutritivo, boa digestibilidade e elevada produção de forragem de alta palatabilidade o que reflete em ganhos na produção de leite (RASSINI et al., 2008; FERREIRA e VILELA, 2015) além de ser economicamente viável (TUPY et al., 2015).

Mundialmente a alfafa é considerada uma das mais importantes forrageiras, dado o seu potencial de produção de forragem e da sua adaptação a diversas condições ambientais (FERREIRA et al., 2016). O Brasil é considerado o maior produtor mundial de carne e o quarto produtor de leite de bovinos alimentados em pastagens (VILELA e JUNTOLLI, 2020). É possível imaginar que ao utilizar forragem de alfafa na alimentação de bovinos possa ser uma alternativa mais viável e de maior potencial para o aumento da produtividade desses animais (VILELA et al., 2008). Para a substituição das forrageiras tradicionais utilizadas no Brasil é necessário utilizar cultivares melhoradas que apresentam alto potencial produtivo associado a maior potencial no ganho de peso de bovinos de corte e/ou produção de leite.

Com o aumento da importância da alfafa como forrageira no Brasil, torna-se necessária a seleção de cultivares mais adaptadas às nossas condições edafoclimáticas, de maneira a permitir maiores rendimentos e redução dos custos com a cultura. Entretanto, uma das grandes dificuldades dos melhoristas em recomendar genótipos superiores diz respeito à interação genótipos x ambientes (GxA) (ou cortes sucessivos de cultivos), caracterizada pelo comportamento dos genótipos que não mantêm o mesmo desempenho relativo nos diversos cortes representativos dos períodos de cultivos (SOUZA-SOBRINHO et al., 2004; FERREIRA et al., 2004).

Na avaliação e seleção de genótipos de alfafa, o interesse está em identificar não apenas os materiais com alta produtividade, mas também aqueles que apresentem maior estabilidade de produção ao longo do ano ou ciclo produtivo (VASCONCELOS et al., 2008). Como o comportamento das cultivares nas sucessivas avaliações de produtividade de matéria seca não é constante, o verdadeiro potencial produtivo dos diferentes genótipos só pode ser confirmado a partir de cortes realizados sucessivamente ao longo do tempo (SOUZA SOBRINHO et al., 2004). Neste aspecto, é importante que a seleção seja efetiva, que a

instalação e a condução de ensaios experimentais levem em consideração os princípios básicos da experimentação (casualização, repetição e controle local) e que a avaliação seja realizada em vários ambientes e/ou locais e em diferentes anos (FERREIRA et al., 2010). Outro ponto que deve ser salientado é que neste tipo de experimento a medição de características no campo é realizada sobre a mesma planta ou parcela nos diferentes tempos, caracterizando medidas repetidas no tempo (ou planejamentos longitudinais).

De modo geral, o estudo de medidas repetidas envolve a observação de uma ou mais variáveis em uma mesma unidade experimental em diversas condições de avaliação no tempo e no espaço (CRUZ et al, 2014). Uma particularidade dos dados de medidas repetidas é a interdependência entre as observações nos diversos tempos, consequente da forma sistemática como são tomadas. Alguns exemplos de análise de medidas repetidas na agricultura são: o crescimento corporal dos animais, a produção de leite, a contagem de ecto e endoparasitos, a produção em cortes das forrageiras, o tempo de armazenamento e a qualidade de produtos (FREITAS e FERREIRA, 2008).

Dos estudos de medidas repetidas, observamos o uso daqueles considerando o esquema de parcela subdivida no tempo dos quais podemos citar trabalhos com capim-elefante (DAHER et al., 2004, OLIVEIRA et al., 2012), cana-de-açúcar (FREITAS et al., 2008) e alfafa (SOUZA SOBRINHO et al, 2004). Entretanto, a modelagem por meio do esquema de parcela subdivida no tempo são violadas duas pressuposições básicas da ANOVA, sendo elas, a independência e homocedasticidade dos erros (REZENDE et al, 1990). Quando essa condição não é satisfeita, o uso desse modelo pode comprometer a precisão na seleção dos genótipos pelo programa de melhoramento. Este fato, pode induzir a uma recomendação equivocada dos melhores genótipos de alfafa para forragem. Dessa forma, seria mais apropriado recorrer a métodos alternativos que maximizem a acurácia seletiva dos indivíduos que são superiores (PIMENTEL et al, 2014).

Para escolha do modelo estatístico adequado para o comportamento deste tipo de experimento é necessário avaliar várias estruturas de matriz de variâncias-covariâncias (QUINTAL, 2013). Assim, será possível modelar o grau de homogeneidade das variâncias e covariâncias dos dados, nas diferentes épocas, por meio da utilização de matrizes específicas (CECON, 2008).

Neste sentido, a manifestação fenotípica é resultado da ação do genótipo sob a influência do ambiente em que a alfafa completará seu ciclo na produção da forragem.

Entretanto, quando se avalia uma série de cortes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação GxA (EEUWIJK et al. 2016).

A interação GxA ainda é uma das maiores dificuldades dos programas de melhoramento de qualquer espécie, tanto na fase de seleção, quanto na recomendação de cultivares. Com sua existência, um mesmo genótipo pode expressar comportamento diferencial ao longo dos cortes devido à expressão diferencial dos seus genes de acordo com as influências ambientais (CRUZ, 2012).

As complexas interações GxA para características de qualidade da forragem em alfafa apresentam um desafio para os melhoristas na análise do desempenho genotípico. Informações sobre padrões de interação GxA e estimativas de estabilidade ambiental e repetibilidade de características de qualidade da forragem ao longo dos anos, locais e colheitas ajudariam os melhoristas de alfafa a selecionar genótipos superiores para recomendação de cultivares (LAMB et al., 2014).

Buscando ser mais assertivo na seleção de genótipos de alfafa considerando a adaptabilidade e estabilidade seria interessante se existisse uma ficha de recomendação multi-informação, que considere várias metodologias ao invés de uma só na tomada de decisão de qual genótipo recomendar. Hoje na literatura são descritos vários métodos, dentre eles os que são baseados em: análise de variância (YATES e COCHRAN, 1938; PLAISTED E PETERSON, 1959; WRICKE, 1965), regressão linear (FINLA E WILKINSON, 1963; EBERHART E RUSSELL, 1966; TAI, 1971), regressão bissegmentada (VERMA ET AL. 1978; SILVA E BARRETO, 1985; CRUZ et al. 1989) e estatísticas não paramétricas (LIN E BINNS, 1988; HUEHN, 1990; ANNICCHIARICO, 1992; ROCHA et al. ,2005; NASCIMENTO et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2015) poderiam fazer parte desta ficha.

Dessa maneira, esse trabalho é dividido em dois capítulos onde o primeiro visa a recomendação de genótipos de maior potencial produtivo considerando a modelagem com diferentes estruturas da matriz de covariâncias e o segundo capítulo identificar os genótipos superiores de alfafa, estudar a interação genótipo x sucessivos cortes e para tomada de decisão da recomendação dos genótipos selecionados propor uma ficha de recomendação fundamentada em análise multi-informação.

REVISÃO DE LITERATURA

Análise de medidas repetidas no tempo

De modo geral, o estudo de medidas repetidas envolve a observação de uma ou mais variáveis em uma mesma unidade experimental em diversas condições de avaliação (no tempo: medida mensalmente, anualmente, etc.; no espaço: medida em várias faixas de profundidade do solo) (CRUZ et al, 2014). Uma particularidade dos dados de medidas repetidas é a interdependência entre as observações nos diversos tempos, conseqüente da forma sistemática como são tomadas.

Algumas abordagens para o estudo de medidas repetidas encontradas na literatura são: a análise univariada de perfis (planejamentos *split-plot* ou modelo univariado no esquema de parcela subdivida), a análise multivariada de perfis e a metodologia de modelos mistos.

O modelo univariado no esquema de parcela subdividida para análise de dados longitudinais tem sido bastante utilizado pelos pesquisadores das ciências agrárias pela simplicidade de análise e interpretação dos resultados, além de dar maior precisão às comparações entre tratamentos da subparcela e no julgamento da interação (FREITAS et al., 2008). De acordo com Steel e Torrie (1980), a análise de dados longitudinais por meio do modelo univariado consiste em considerar um esquema em parcelas subdivididas tendo “tratamentos” como parcela e “tempos” como subparcelas.

Porém, a análise de dados de medidas repetidas por meio do esquema de parcelas subdivida violam duas pressuposições básicas da análise de variância: a falta de casualização entre os tratamentos e as épocas de avaliação (tempo) e a dependência dos erros, devido às medidas serem mensuradas nas mesmas unidades experimentais ao longo do tempo, gerando a correlação entre os dados (REZENDE et al., 1999; ROSÁRIO et al., 2005). Na maioria das vezes, são feitas inferências sobre os genótipos sem que essas suposições de normalidade e homocedasticidade dos erros sejam testadas através de testes estatísticos adequados para garantir a validade dos valores preditos pelo modelo de ANOVA. Uma conseqüência de se ignorar as diferentes correlações entre dados mensurados no tempo é que a significância aparente da diferença entre as médias dos tratamentos é grosseiramente exagerada e a sensibilidade dos testes para interação é seriamente reduzida (GILL, 1986; RIBOLDI et al., 1996).

Huynh e Feldt (1970) mostraram que, em um delineamento em parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo, o teste F com relação à parcela tem distribuição F exata, mas que o teste F referente à subparcela só terá distribuição exata se a matriz de covariâncias residuais residuais (Σ) satisfizer a condição de esfericidade. Condição esta que pode ser verificada através do teste de esfericidade de Mauchly (1940), que avalia se uma população multivariada apresenta variâncias iguais e correlações nulas. Autores como Box (1954), Geisser e Greenhouse (1958) e Huynh e Feldt (1976) sugerem algumas correções nos graus de liberdade para o fator tempos e para a interação entre tratamentos e tempos para que esses testes possam ser usados de forma aproximada, mesmo que a condição de esfericidade não seja satisfeita. Outra possibilidade seria utilizar a análise multivariada, que considera uma hipótese mais geral sobre a estrutura da matriz de covariâncias (XAVIER e DIAS, 2001).

Freitas et al. (2008) aplicaram o modelo univariado a dados longitudinais de cana-de-açúcar e mesmo com a condição de esfericidade violada, verificaram que a significância dos testes para os fatores intra-indivíduos (de subparcelas) não foi alterada após as correções dos números dos graus de liberdade. Mas os autores destacam que, embora não tenha sido evidenciado diferenças nos resultados obtidos com e sem a correção do número de graus de liberdade para os fatores de subparcelas, isso não dispensa a verificação da condição de esfericidade da matriz de variâncias e covariâncias residuais em outros estudos.

Nas pesquisas com alfafa envolvendo a produtividade de matéria seca, dada a sua importância econômica, é possível encontrar estudos sobre adaptabilidade e estabilidade (FERREIRA et al., 2004; VASCONCELOS et al., 2008), repetibilidade (PEREIRA et al., 1998; FERREIRA et al., 1999; SOUZA SOBRINHO et al., 2004) e desempenho fenotípico (MONTEIRO et al., 1998; FAVERO et al., 2008). Alguns desses trabalhos que consideraram cortes sucessivos utilizaram o modelo ANOVA no esquema de parcelas subdivididas no tempo sem verificar se a suposição condição de esfericidade da matriz de variâncias e covariâncias havia sido atendida.

Portanto, quando essa condição não é satisfeita, não há como garantir que o valor fenotípico de um indivíduo não estará sendo subestimado ou superestimado pelo modelo de ANOVA considerando o esquema de parcela subdividida no tempo. Sendo assim, o uso dessa metodologia pode comprometer a precisão na avaliação dos materiais genéticos pelo programa de melhoramento induzindo à escolha equivocada dos melhores genótipos. Consequentemente, levando a perda de tempo e recursos se for lançado um cultivar que não atenda às expectativas de produtor e do mercado.

REFERÊNCIAS

- BOX, George EP. Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems, I, II. *The annals of mathematical statistics*, p. 290-302, 1954.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. *Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. rev. e ampl., v.2, Viçosa: Editora UFV, 2014. 668p.
- FERREIRA, R. P.; BOTREL, M. A.; PEREIRA, A. V.; CRUZ, C. D. Avaliação de cultivares de alfafa e estimativas de repetibilidade de caracteres forrageiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 6, p. 995-1002, 1999.
- FERREIRA, R. P.; BOTREL, M. A.; RUGGIERI, A. C.; PEREIRA, A. V.; COELHO, A. D. F.; LÉDO, F. J. S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa em relação a diferentes épocas de corte. *Ciência Rural*, v. 34, n. 1, p. 265-269, 2004.
- FREITAS, A. R.; FERREIRA, R. P. Análises estatísticas utilizadas em dados de alfafa. In: FERREIRA, R. P. et al. (Eds.). *Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p.421-440
- GEISSER, S.; Greenhouse, S. W. An extension of box's results on the use of the F distribution in multivariate analysis. *The Annals of Mathematical Statistics*, v. 29, n. 3, p. 885-891, 1958.
- HUYNH, H.; FELDT, L. S. Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data in randomized block and split-plot designs. *Journal of educational statistics*, v. 1, n. 1, p. 69-82, 1976.
- HUYNH, H.; FELDT, L. S. Conditions under which mean square ratios in repeated measurements designs have exact F-distributions. *Journal of the American Statistical Association*, v. 65, n. 332, p. 1582-1589, 1970.
- LAMB, JoAnn FS; JUNG, Hans-Joachim G.; SAMAC, Deborah A. Environmental variability and/or stability of stem fiber content and digestibility in alfalfa. *Crop Science*, v. 54, n. 6, p. 2854-2863, 2014.
- MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, v. 11, n. 2, p. 204-209, 1940.

MONTEIRO, A. L. G.; COSTA, C.; SILVEIRA, A. C. Produção e distribuição de matéria seca e composição bromatológica de cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.27, n.5, p.868-874, 1998.

PEREIRA, V. A., FERREIRA, R. P.; CRUZ, C. D.; FREITAS, V. P.; OLIVEIRA, P. T. A. Comportamento da alfafa cv. Crioula de diferentes origens e estimativas dos coeficientes de repetibilidade para caracteres forrageiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 27, n. 4, p. 686-690, 1998.

REZENDE, D. M. L. C.; FERREIRA, D.; MINIZ, J. Comparações de técnicas de análises de experimentos utilizando medidas repetidas no tempo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 23, n. 4, p. 928-938, 1999.

RIBOLDI, J.; FERNANDEZ, D. W. X.; CASTRO, SM de J. Análise de observações simultâneas e medidas repetidas. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 41, 1996, São José do Rio Preto. Resumos...São José do Rio Preto: UNESP, 1996.

ROSÁRIO, M. F. D.; SILVA, M. A. N. D.; SAVINO, V. J. M.; COELHO, A. A. D.; MORAES, M. C. D. Avaliação do desempenho zootécnico de genótipos de frangos de corte utilizando-se a análise de medidas repetidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2005.

SOUZA-SOBRINHO, F. D., LÉDO, F. J. D. S., PEREIRA, A. V., BOTREL, M. A., EVANGELISTA, A. R., & VIANA, M. C. M. Estimativas de repetibilidade para produção de matéria seca em alfafa. *Ciência Rural*, v. 34, n. 2, p. 531-537, 2004.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics - A biometrical approach. 2. ed. Singapura: MacGraw-Hill, 1980. 633p.

VASCONCELOS, E. S.; BARIONI JÚNIOR, W.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, R. P.; RASSINI, J. B.; VILELA, D. Seleção de genótipos de alfafa pela adaptabilidade e estabilidade da produção de matéria seca. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, n. 3, 2008.

XAVIER, Lara Hoffmann; DIAS, C. T. S. Acurácia do modelo univariado para análise de medidas repetidas por simulação multidimensional. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 2, p. 241-250, 2001.

CAPÍTULO 1

Desempenho de genótipos de alfafa considerando modelos com diferentes estruturas da matriz de covariâncias

Desempenho de genótipos de alfafa considerando modelos com diferentes estruturas da matriz de covariâncias

RESUMO

A modelagem no esquema de parcela subdivida no tempo, comumente utilizada para mensurar o potencial produtivo de genótipos de alfafa, viola duas pressuposições básicas do modelo de ANOVA: independência e homocedasticidade dos erros. Este fato pode induzir à escolha equivocada dos melhores genótipos a serem selecionados nos programas de melhoramento. Assim, nosso objetivo foi quantificar a variabilidade genética e identificar genótipos superiores a partir da comparação dos desempenhos finais e em cada corte por meio da modelagem de diferentes estruturas para a matriz de erros. Foram utilizadas informações de 77 genótipos de alfafa, envolvendo um período de cultivo com 24 cortes consecutivos no período de 2015 a 2017. O delineamento utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, com três repetições. A característica avaliada foi a produção de matéria seca (PMS) (kg.ha⁻¹). A análise de medidas repetidas considerou diferentes estruturas para a matriz de erros, o que permite modelar o grau de homogeneidade das variâncias e covariâncias dos dados, nas diferentes épocas. Foram ajustados modelos considerando as matrizes: simetria composta, simetria composta heterogênea, auto-regressiva de 1ª ordem, auto-regressiva de 1ª ordem heterogênea, componente de variância e não estruturada. A estrutura de erros mais apropriada para análise de dados foi estabelecida a partir do Critério de informação de Akaike (AIC). Foi realizado o teste de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, para indicar os grupos homogêneos quanto ao potencial médio, dentro de cada corte. Também foi estimada a persistência (S%) da PMS para cada genótipo, utilizando-se como medida indireta a proporção de cortes em que foi considerado como superior no teste de Scott-Knott. O modelo em parcela subdivida no tempo (contemplando dois ou três erros) e aqueles ajustados para diferentes estruturas de erros na avaliação da produção de genótipos de alfafa foram concordantes em apontar efeito significativo de cortes (C), genótipos (G) e a interação G x C. Ao considerar diferentes estruturas para a matriz de erros, os valores de AIC foram inferiores a aqueles obtidos pelos modelos de parcela subdivida no tempo, indicando que a análise de medidas repetidas deve se preferida neste tipo de experimento. A persistência (S%) da produção de matéria seca mostrou-se uma importante ferramenta na seleção dos genótipos 4, 21, 57, 61, 67 e 72 de alfafa considerando a estrutura de covariância simetria composta heterogênea a qual obteve o menor AIC.

Palavras-chave: Estrutura de covariâncias, medidas repetidas, *Mendicago sativa*.

INTRODUÇÃO

A alfafa (*Mendicago sativa*, L.) é uma forrageira leguminosa perene originária do sudoeste da Ásia e é uma das mais antigas forrageiras cultivadas (RODRIGUES et al., 2008). No mundo, a alfafa é considerada uma das mais importantes forrageiras, dado o seu potencial de produção de forragem e da sua adaptação a diversas condições ambientais (FERREIRA et al., 2016).

A alfafa tem sido bastante utilizada para a alimentação de rebanhos leiteiros especializados e destaca-se por possuir características forrageiras desejáveis como alto valor nutritivo, boa digestibilidade e elevada produção de forragem de alta palatabilidade, tendo fornecido excelentes resultados em termos de produção de leite (RASSINI et al, 2008; VILELA et al., 2008) além de ser economicamente viável (TUPY et al., 2015).

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de carne e o quarto produtor de leite de bovinos alimentados em pastagens (VILELA e JUNTOLLI, 2020). É possível imaginar que ao utilizar forragem de alfafa na alimentação de bovinos possa ser uma alternativa mais viável e de maior potencial para o aumento da produtividade desses animais (VILELA et al., 2008). Para a substituição das forrageiras tradicionais utilizadas no Brasil é necessário utilizar cultivares melhoradas que apresentam alto potencial produtivo associado a maior potencial no ganho de peso de bovinos de corte e/ou produção de leite.

Um dos principais objetivos dos programas de melhoramento de alfafa é o estabelecimento de critérios para a seleção de genótipos mais produtivos na seleção de genitores e/ou recomendação de cultivares. A produtividade de matéria seca se destaca dentre as características agrônômicas importantes para o melhoramento de forrageiras e tem sido avaliada na maioria dos ensaios comparativos de desempenho de alfafa (JULIER et al., 2000; BOTREL et al., 2001; GUINES et al., 2002; KATEPAMUPONDWA et al., 2002, SOUZA SOBRINHO et al., 2004).

Em experimentos com espécies forrageiras, tais como, capim-elefante (DAHER et al., 2004, OLIVEIRA et al., 2012), cana-de-açúcar (FREITAS et al., 2008) e alfafa (SOUZA SOBRINHO et al, 2004) devemos lembrar que a avaliação da superioridade fenotípica das cultivares geralmente é realizada por meio de observação de cortes sucessivos, caracterizados por planejamentos longitudinais (FERREIRA et al., 2010). Uma preocupação neste caso, é que

essas medidas em análises comparativas podem proporcionar variações de diferentes magnitudes além de serem correlacionadas devido aos cortes sucessivos.

Vale salientar que na seleção de genótipos de alfafa devemos identificar não apenas aqueles com alta produtividade (média ou total), mas também os que apresentam maior persistência e estabilidade de produção ao longo do ano ou ciclo produtivo. Como o comportamento das cultivares nas sucessivas avaliações de produtividade de matéria seca não é constante, o verdadeiro potencial produtivo, dos diferentes genótipos, só pode ser confirmado a partir de cortes realizados sucessivamente ao longo do tempo (SOUZA SOBRINHO et al., 2004).

O esquema de parcela subdivida no tempo utilizado na maioria das avaliações de genótipos de alfafa viola as pressuposições de independência e homocedasticidade dos erros da ANOVA. Dessa forma, podemos estar induzindo à escolha equivocada dos melhores genótipos a serem selecionados nos programas de melhoramento. Assim, acreditamos ser mais apropriado recorrer a métodos alternativos, tais como modelo de efeito fixo que maximizem a acurácia seletiva dos indivíduos que são superiores.

Em busca do modelo estatístico que melhor represente os dados, levando em consideração se estes são independentes ou não, várias estruturas de matriz de variâncias-covariâncias precisam ser avaliadas (QUINTAL, 2013). Uma alternativa é utilizar a análise de medidas repetidas considerando diferentes estruturas de matrizes que permite modelar o grau de homogeneidade das variâncias e covariâncias dos dados, nas diferentes épocas, por meio da utilização de matrizes específicas (CECON, 2008).

Assim, objetivamos com esse trabalho quantificar a variabilidade genética e identificar genótipos superiores a partir da comparação dos desempenhos finais e em cada corte de avaliação por meio de diferentes estruturas de erros.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram realizados na Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos, latitude 22° 01' 03" S e longitude 47° 53' 27" W". O experimento foi instalado segundo o delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições. Cada unidade experimental era constituída por quatro linhas de 4 m de comprimento, com espaçamento de 20 cm entre fileiras.

Os cortes foram realizados entre os meses de novembro de 2015 e novembro de 2017, totalizando 24 cortes não consecutivos. A área útil da parcela era constituída das duas fileiras

centrais, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade. Utilizaram-se 77 genótipos, dentre elas a cultivar Crioula (Tabela 1), em que foi avaliada a produção de matéria seca (kg/ha) medida pelos cortes feitos a uma altura de 8 a 10 cm do nível do solo, sempre que cada cultivar atingia 10% da floração ou quando as brotações basais atingissem altura média de 3 a 5 cm. O experimento foi conduzido com irrigação, com exceção dos cortes 8, 9, 10, 19, 20 e 21, que estavam sob déficit hídrico. Todos os demais tratamentos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura.

Tabela 1: Genótipos de alfafa avaliados no município de São Carlos, SP. 2015/2017

Genótipos		Genótipos	
1	5681	39	Maitena
2	ACA 900	40	Mecha
3	ACA 901	41	MEDINA
4	ACTIVA 42	42	Milonga II
5	Bacana 43	43	MONARCA
6	BACANA	44	MONARCA SP INTA
7	Bar Pal 5	45	P 30
8	Bar Pal 10	46	P 5715
9	Baralfa 85	47	Patriarca
10	BÁRBARA SP INTA	48	PATRICIA
11	CALIFORNIA 50	49	Pintado
12	CUF 101	50	PINTO
13	CW 1010	51	PRIMAVERA
14	CW 194	52	ProINTA Carmina
15	CW 620	53	ProINTA Luján
16	CW 830	54	ProINTA Mora
17	DIAMOND	55	ProINTA Patricia
18	DK 166	56	PROINTA PATRICIA
19	DK 181	57	ProINTA Super Monarca
20	DK 187 R	58	Queen 910
21	DK 192	59	RIO GRANDE
22	DK 194	60	Ruano
23	Don Enrique	61	Ruano
24	F 708	62	SEQUEL
25	FLÓRIDA 77	63	SEQUEL 2
26	G 909	64	SIRIVER 2
27	GAPP 969	65	SPS 6550
28	Gateado	66	TRINIDAD 87
29	KERN	67	Verdor
30	LE N 1	68	Verz
31	LE N 2	69	VICTORIA SP INTA
32	LE N 3	70	Villa
33	LE N 4	71	WINTER
34	LPS 8500	72	WL 1058

35	Magna 601	73	WL 516
36	Magna 804	74	WL 525
37	Magna 860	75	WL 818
38	Magna 868	76	WL 903
		77	Crioula

Variabilidade genética entre acessos

Para fins de orientação de um programa de melhoramento genético é indispensável avaliar a existência de variabilidade genética entre os acessos estudados. Para este fim, foi realizado procedimento de análise de variância, seguindo modelos contemplando arranjos de parcelas subdivididas, sujeitos às críticas por não pressupor heterocedasticidade da variância residual e nem a existência de covariância residual entre informações de pares de cortes. Para fins de comparação, também foi feita análises da variação admitindo diferentes estruturas de erros.

A análise de variância foi realizada considerando os tratamentos no esquema de parcela subdividida no tempo, sendo as parcelas representadas pelos genótipos e as subparcelas pelos cortes, por meio da utilização de dois modelos. O primeiro:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_k + \varepsilon_{ik} + C_j + GC_{ij} + \gamma_{ijk} \quad (1)$$

em que Y_{ijk} : valor da produção de matéria seca do genótipo i ($i=1,2,\dots,77$), no corte j ($j=1,2,\dots,24$) e repetição k ($k=1,2$ e 3); m : média geral; G_i : efeito do genótipo i ; B_k : efeito do bloco k . ε_{ik} : erro aleatório a; C_j : efeito do corte j ; GC_{ij} : efeito da interação de genótipo i com corte j ; γ_{ijk} : erro aleatório b.

E o segundo modelo (RAMALHO et al., 2000):

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_k + \varepsilon_{ik} + C_j + \theta_{jk} + GC_{ij} + \delta_{ijk} \quad (2)$$

em que θ_{jk} : erro aleatório b; e δ_{ijk} : erro aleatório c. Os demais efeitos são definidos tal como no modelo 1.

Como análise alternativa realizou-se a análise considerando a existência de medidas repetidas a partir do seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + C_j + GC_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

sendo as estruturas de erros conforme ilustrado a seguir, em caso particular de blocos de matrizes aplicáveis a situações de 4 cortes (dimensão 4 x 4, ilustrativa):

Simetria Composta - CS

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 + \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma^2 + \sigma_2^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma^2 + \sigma_3^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma^2 + \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Simetria Composta Heterogênea - CSH

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_1\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_4\rho & \sigma_2\sigma_4\rho & \sigma_3\sigma_4\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Auto-Regressiva de 1ª Ordem - AR(1)

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^2 & \rho & 1 & \rho \\ \rho^3 & \rho^2 & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

Auto-Regressiva de 1ª Ordem Heterogênea -**ARH(1)**

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_1\sigma_4\rho^3 \\ \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho^2 \\ \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_4\rho^3 & \sigma_2\sigma_4\rho^2 & \sigma_3\sigma_4\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Componente de Variância - VC

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

Não Estruturada - UN

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{14} & \sigma_{24} & \sigma_{34} & \sigma_{44} \end{bmatrix}$$

A estrutura de erro mais apropriada para análise de dados foi estabelecida a partir da comparação dos valores do Critério de Informação de Akaike (AIC). O AIC é baseado na verossimilhança do modelo ajustado, de modo que menor valor de AIC é considerado o modelo de melhor ajuste. (AKAIKE, 1974).

Comparações entre médias dos acessos

Também foi realizado o teste de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, para indicar os grupos homogêneos quanto ao potencial médio, dentro de cada corte. Também neste caso, foram consideradas duas situações de análise. Na primeira, a variação residual, para fins de comparação das médias de genótipos dentro de cortes, foi extraída a partir dos erros combinados das fontes de variação de genótipos de da interação genótipos x cortes. Na segunda análise, fundamentada em estudos de medidas repetidas, a variação residual foi estabelecida com base na estrutura de erros mais apropriada para análise dos dados.

As rotinas das análises estatísticas elaboradas nesse trabalho foram desenvolvidas no software R e implementadas no programa Genes (CRUZ 2013, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Desempenho geral de cultivares de alfafa

O desempenho geral de 77 genótipos de alfafa quanto a produção de matéria seca (PMS), expresso em termos de médias obtidas a partir da avaliação em 24 cortes, é apresentado na Figura 1. Embora a visualização nítida do comportamento de cada genótipo no gráfico esteja prejudicada pelo elevado número de genótipos, ele é bastante útil para dar uma visão geral do comportamento da PMS ao longo do período produtivo avaliado. Pode-se observar que a PMS de alfafa exibe picos de alta e de baixa produção ao longo do seu período produtivo. Acreditamos que essas flutuações da produtividade ao longo do tempo em uma mesma planta de alfafa podem ser corretamente modeladas por meio de diferentes estruturas de matriz de variâncias e covariâncias.

A oscilação na produção ao longo do tempo, tal como observada para PMS de alfafa, é uma característica observada também em espécies vegetais perenes devido ao fato de apresentarem um importante aspecto biológico que é a presença de ciclos produtivos. Essa particularidade faz com que o melhoramento genético dessas espécies seja diferente das espécies anuais de modo que, para obtenção de resultados comparativos fidedignos entre materiais genéticos, é necessário remover a influência dos ciclos produtivos por meio da modelagem estatística (CECON et al, 2008).

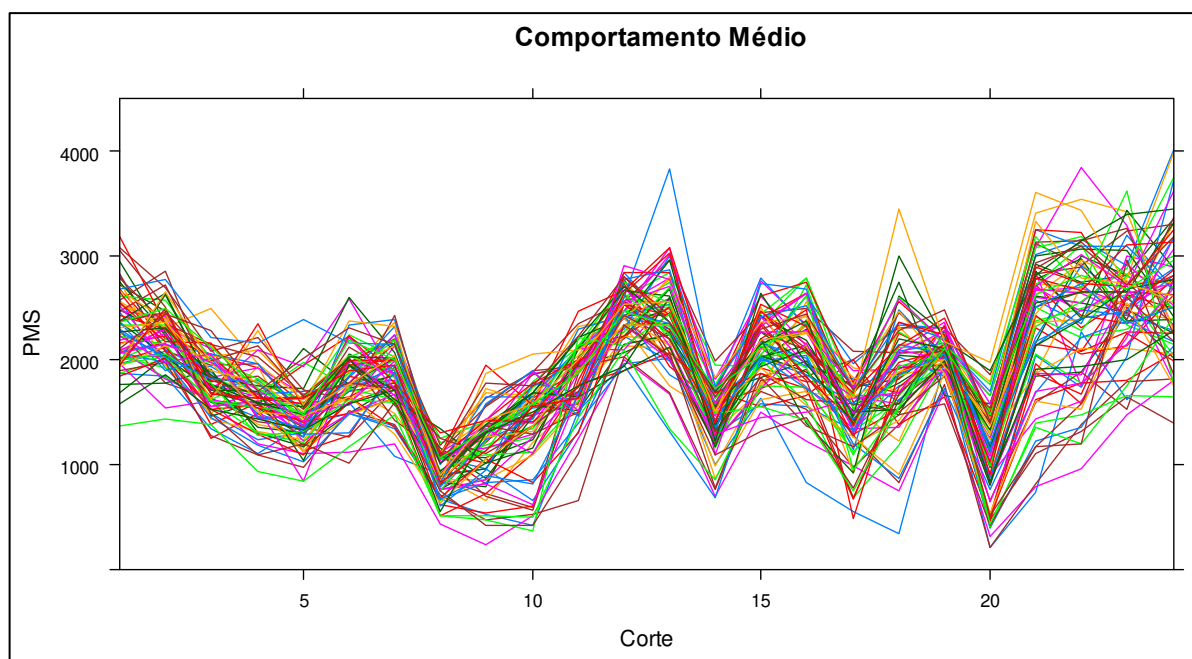


Figura 1: Média da produção de matéria seca (PMS) de 77 genótipos de alfafa obtidas a partir da avaliação em 24 cortes.

Na Tabela 2 tem-se as medidas descritivas da produção de matéria seca (PMS) de 77 genótipos de alfafa avaliados em 24 cortes.

Tabela 2: Medidas descritivas da produção de matéria seca (PMS) de 77 genótipos de alfafa avaliados em 24 cortes. Valor Total, Média, percentual de cortes em que o genótipo apresentou PMS maior que a sua produtividade média nos 24 cortes (CAM%), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e variação total (Δ PMS) após 24 cortes, dada pela diferença de produtividade avaliada no último e no primeiro corte.

Genótipo	Total	Média	CAM%	DP	CV(%)	Δ PMS
21	54591.3	2274.6	45.8	580.8	25.5	731.3
61	53495.3	2229.0	58.3	565.4	25.4	513.7
77	53230.3	2217.9	58.3	522.1	23.5	1066.0
64	53047.7	2210.3	50.0	628.6	28.4	496.0
66	52547.3	2189.5	50.0	637.9	29.1	1172.7
40	52469.7	2186.2	41.7	623.8	28.5	-275.7
75	52281.0	2178.4	50.0	667.8	30.7	304.0
2	50841.7	2118.4	50.0	664.0	31.3	99.3
56	50802.7	2116.8	50.0	624.9	29.5	286.0
14	50795.3	2116.5	45.8	498.5	23.6	-489.3
22	50662.0	2110.9	37.5	681.1	32.3	2047.0
67	50558.3	2106.6	50.0	609.7	28.9	70.7
72	50407.0	2100.3	45.8	621.2	29.6	1542.7
57	49992.3	2083.0	50.0	715.9	34.4	299.0
37	49737.3	2072.4	50.0	574.4	27.7	50.3
60	49479.0	2061.6	45.8	561.9	27.3	326.0
16	49232.0	2051.3	45.8	522.3	25.5	816.3
42	49148.0	2047.8	37.5	596.7	29.1	-221.0
39	49138.3	2047.4	45.8	566.0	27.6	343.0

74	48879.3	2036.6	45.8	677.4	33.3	1170.3
38	48769.7	2032.1	50.0	589.0	29.0	54.0
34	48738.7	2030.8	58.3	553.5	27.3	-87.3
62	48670.3	2027.9	50.0	619.7	30.6	-193.7
76	48582.0	2024.3	54.2	553.3	27.3	591.7
8	48580.3	2024.2	50.0	591.0	29.2	-135.0
26	48150.0	2006.3	54.2	448.9	22.4	584.0
41	47930.0	1997.1	50.0	601.4	30.1	160.0
25	47927.0	1997.0	54.2	531.8	26.6	465.7
29	47871.7	1994.7	50.0	538.1	27.0	797.7
3	47785.7	1991.1	45.8	615.0	30.9	627.3
4	47736.7	1989.0	45.8	527.2	26.5	129.0
6	47677.0	1986.5	45.8	526.3	26.5	986.7
30	47468.0	1977.8	54.2	648.7	32.8	979.7
45	47432.0	1976.3	45.8	655.0	33.1	887.7
20	47297.3	1970.7	58.3	464.3	23.6	704.3
5	46979.3	1957.5	45.8	579.6	29.6	776.7
13	46932.7	1955.5	54.2	484.5	24.8	14.0
10	46578.7	1940.8	54.2	420.3	21.7	-457.3
9	46418.3	1934.1	45.8	528.8	27.3	371.0
12	46130.0	1922.1	50.0	492.3	25.6	-368.3
54	45859.3	1910.8	45.8	557.8	29.2	612.3
24	45761.7	1906.7	50.0	587.9	30.8	-241.0
19	45748.3	1906.2	50.0	594.5	31.2	-37.7
59	45586.0	1899.4	54.2	569.6	30.0	392.3
31	45064.3	1877.7	50.0	560.9	29.9	620.0
11	44957.7	1873.2	54.2	567.3	30.3	691.7
65	44893.3	1870.6	54.2	537.1	28.7	456.7
48	44659.3	1860.8	45.8	679.5	36.5	1675.3
36	44492.3	1853.8	58.3	480.3	25.9	-169.0
46	44477.7	1853.2	66.7	540.9	29.2	270.0
28	44283.0	1845.1	45.8	589.2	31.9	636.7
44	44252.0	1843.8	45.8	518.7	28.1	-728.0
52	44182.7	1840.9	45.8	623.8	33.9	1623.7
17	43810.7	1825.4	54.2	526.9	28.9	-685.3
33	43454.0	1810.6	37.5	696.5	38.5	1744.7
27	43192.3	1799.7	54.2	574.0	31.9	107.3
71	43144.0	1797.7	54.2	572.7	31.9	242.0
43	42710.7	1779.6	54.2	527.0	29.6	94.3
51	41693.7	1737.2	54.2	573.6	33.0	629.7
73	41226.3	1717.8	50.0	494.5	28.8	700.0
49	41151.3	1714.6	50.0	633.5	36.9	-1.0
63	40932.0	1705.5	50.0	524.0	30.7	-196.0
47	40194.0	1674.8	54.2	537.2	32.1	-6.7
58	39955.0	1664.8	45.8	579.8	34.8	1084.0
68	39139.3	1630.8	45.8	544.5	33.4	-217.0
18	38638.3	1609.9	54.2	610.2	37.9	465.0

1	38258.0	1594.1	45.8	587.0	36.8	232.3
32	38208.3	1592.0	58.3	496.3	31.2	-580.7
53	37731.3	1572.1	58.3	557.1	35.4	150.3
50	36956.0	1539.8	41.7	702.2	45.6	1428.7
69	36006.7	1500.3	54.2	631.9	42.1	405.0
70	35168.3	1465.3	41.7	736.3	50.2	-1185.0
7	34764.7	1448.5	45.8	503.2	34.7	-885.3
55	30868.7	1286.2	62.5	488.9	38.0	273.7
15	30832.7	1284.7	58.3	628.3	48.9	266.3
35	30538.3	1272.4	58.3	549.4	43.2	-76.7
23	28099.7	1170.8	54.2	512.9	43.8	-158.3

O genótipo 21 destacou-se como o mais produtivo com PMS total de 54591.33 kg/ha, o equivalente a uma média de 2274,64 kg/ha por corte, sendo que, em quase metade dos cortes (45.8%) a PMS manteve-se acima da sua produtividade média. Além disso, o genótipo 21 também manteve uma produção positiva após 24 cortes ($\Delta PMS > 0$), representando um aumento de 731.3 kg/ha ao final do seu período produtivo (Tabela 2). Por outro lado, o genótipo 23 foi o que obteve o pior desempenho com PMS total de 28099.67 kg/ha e uma média de 1170,82 kg/ha por corte, o que representa pouco mais da metade da PMS do genótipo mais produtivo. Apesar de o genótipo 23 ter obtido PMS acima da sua média para mais da metade dos cortes (54.2%), ele pertence ao grupo de genótipos (aproximadamente 29%) cuja ΔPMS foi negativa, ou seja, genótipos cuja produtividade reduziu após 24 cortes. Os genótipos de alfafa com ΔPMS negativa tiveram ao final do período produtivo uma redução de, no mínimo, 1 kg/ha (genótipo 49) e de, no máximo, 1185 kg/ha (genótipo 70) na PMS.

Em contraste com o de maior e menor produtividade tem-se o genótipo 77, o cultivar Crioula, que foi classificado como o terceiro genótipo mais produtivo, cuja PMS total foi de 53230,33 kg/ha e média de 2217,9 kg/ha por corte. Também obteve PMS acima da sua média em mais da metade dos cortes (58,3%), além de estar entre os dez genótipos com maiores valores para ΔPMS .

Pode-se observar ainda que o déficit hídrico provocou redução na média da produção de matéria seca dos genótipos (Figura 2), uma vez que no período de restrição hídrica (cortes sem irrigação: 8, 9, 10, 19, 20, 21) os genótipos foram menos produtivos quando comparado ao período em que foram irrigados.

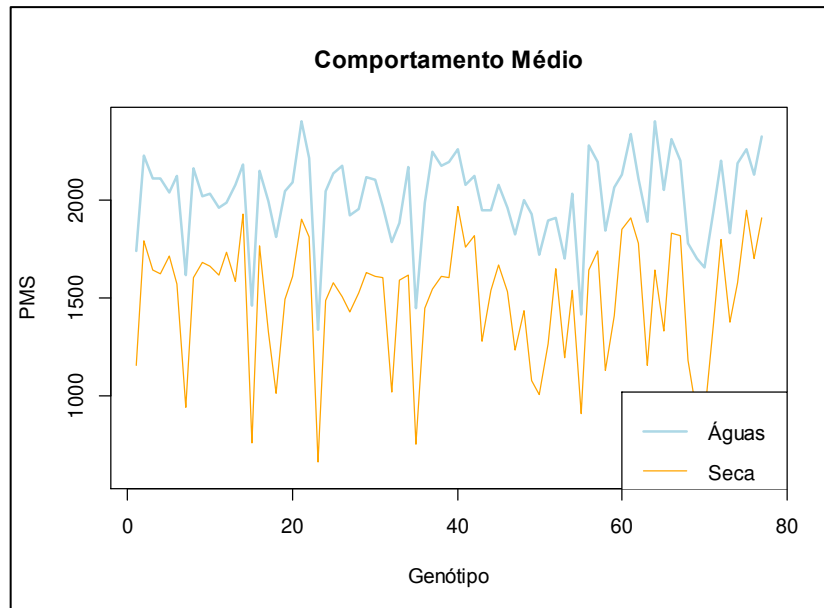


Figura 2: Produtividade média de cada genótipo avaliados com e sem irrigação.

2. Variabilidade genética entre cultivares de alfafa

Tendo em vista que a avaliação dos genótipos de alfafa foi realizada ao longo do tempo, deseja-se identificar por meio da análise estatística quais os genótipos superiores de alfafa quanto à produção de matéria seca ao longo do período produtivo avaliado de 24 cortes. Mas antes, é importante verificar a existência de variabilidade genética do material genético sob estudo. A existência de variabilidade genética é determinante para adotar estratégias de seleção e, ou, recomendação de cultivares.

2.1. Abordagem tradicional fundamentada em análise de variância em parcela subdividida no tempo

De acordo com os dois modelos de análise de variância no esquema de parcela subdividida no tempo (Tabelas 3 e 4), verificou-se a existência de variabilidade genética entre os 77 genótipos de alfafa e também que o efeito da interação genótipo x corte foi significativo. A significância da interação genótipo x corte indica que o desempenho de cada genótipo depende do corte em que a avaliação foi realizada, de modo que os genótipos mais produtivos em determinado corte podem não ter apresentado rendimento superior numa outra avaliação.

Tabela 3: Resumo da análise de variância em DBC considerando os tratamentos no esquema de parcela subdivida no tempo com dois erros (A e B) para a característica produção de matéria seca (PMS) de 77 genótipos de alfafa avaliados no período de 2015 a 2017.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	Fcal	p-valor
Bloco	2	5839108		
Genótipo (G)	76	4164198	8.55	0.0 **
Erro a	152	486830		
Corte (C)	23	55570151	367.22	0.0 **
Interação GxC	1748	287572	1.90	0.003142 **
Resíduo (Erro b)	3542	151330		
AIC	83379			

*** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4: Resumo da análise de variância em DBC considerando os tratamentos no esquema de parcela subdivida no tempo com três erros (A, B e C), para o caractere produção de matéria seca (PMS) de 77 genótipos de alfafa avaliados no período de 2015 a 2017.

Fonte de Variação	GL	QM	Fcal	p-valor
Bloco	2	5839108		
Genótipo (G)	76	4164198	8.55	0.0 **
Erro a	152	486830		
Corte (C)	23	55570151	49.58	0.0 **
Erro b	46	1120895		
Interação GxC	1748	287572	2.08	0.0 **
Resíduo (Erro c)	3496	138573		
AIC	82911			

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Assim, pode-se constatar que o uso dos dois modelos para detectar variabilidade conduziu ao mesmo resultado de evidenciar variabilidade genética e variabilidade da interação genótipo x corte, porém magnitude do Erro b, no segundo modelo, foi 7,4 vezes superior à apresentada no primeiro modelo indicando uma comparação mais rigorosa do efeito de corte neste modelo 2.

Geralmente, após detectada a existência de diferenças significativas, há interesse de apontar quais genótipos se destacam por apresentar desempenho superior. Tendo em vista a existência da interação GxC significativa, recomenda-se comparar genótipos dentro de cada corte utilizando informações apropriadas do resíduo (Erro a e Erro b, no primeiro modelo e Erro a e Erro c, no segundo modelo). Para as particularidades da cultura da alfafa, independente da interação GxC ser ou não significativa, é importante a comparação das médias marginais dos genótipos pois elas representam a produção final de um cultivar que foi instalado e submetido aos manejos adequados na lavoura, nos cortes sucessivos em que, por motivos práticos e financeiro, não são substituídos ao longo de um ciclo de cultivo.

2.2. Abordagem fundamentada em diferentes estruturas do erro entre medidas sucessivas nos cultivares de alfafa

Nesta abordagem consideramos que o mais apropriado é testar a hipótese da existência de variabilidade levando em conta matrizes de erros com diferentes estruturas nos sucessivos cortes. O experimento envolveu 24 cortes e, portanto, para fins de se ter conclusões mais generalistas, formulou-se hipótese de que haveria, dentre as estruturas de erros testadas, alguma mais apropriada para análises de dados e, ainda, que a melhor estrutura poderia variar com o ciclo da cultura. Assim, avaliou-se primeiro o conjunto total de 24 cortes e depois três subconjuntos representando as fases inicial, intermediária e final do cultivo.

2.2.1. Comportamento da estrutura dos erros no período 1-24

Na Tabela 5 pode ser observado os valores de AIC e quadrado médio do resíduo (QMRes) obtido a partir do ajuste de modelos de análise de variância para a PMS de 77 genótipos de alfafa avaliados em 24 cortes, considerando as seguintes estruturas de matriz de variâncias-covariâncias residuais: componentes de variância (VC), simetria composta (CS), simetria composta heterogênea (CSH), auto-regressiva de primeira ordem (AR1) e auto-regressiva de primeira ordem heterogênea (AR1H).

Tabela 5: Valores de AIC resultantes do ajuste de modelos com diferentes estruturas de matriz de variâncias-covariâncias residuais.

Critério	Estrutura				
	VC	CS	CSH	AR1	AR1H
AIC	60610	60468	60021	60448	60044

A primeira conclusão é de que, ao considerar diferentes estruturas de matrizes de erro, os valores de AIC foram inferiores ao obtido com o uso dos modelos de parcela subdividida (AIC = 83379.84, no modelo com dois erros, AIC = 82911, no modelo com três erros) indicando que este procedimento deve ser preferido àquele em parcelas subdivididas que negligencia a heterocedasticidade de erros e a existência de covariâncias residuais entre as medidas sucessivas.

Uma segunda conclusão diz respeito ao comportamento das diferentes estruturas de erros aplicadas ao conjunto de dados. Para a análise do total de cortes, a estrutura que melhor se ajustou aos dados, ou seja, com o menor valor de AIC foi a CSH.

Pode-se observar na Tabela 6 os resultados da análise que leva em consideração a estrutura de erro mais apropriada e poderia detectar melhor a variação entre os efeitos principais do modelo. Verificou-se que esta análise também aponta valores significativos de efeitos de genótipo, corte e interação genótipo x corte (GxC), mas com valores da estatística F superior aos obtidos quando a análise foi feita considerando modelo em parcela subdividida.

Tabela 6: Resumo da análise de variância para a característica produção de matéria seca (PMS) de 77 genótipos de alfafa para os 24 cortes, considerando a estrutura da matriz de variâncias-covariâncias simetria composta heterogênea (CSH).

Fonte de Variação	GL	Fcal	p-valor
Bloco	2	8.48	
Genótipo (G)	76	11.11	0.0 ***
Corte (C)	23	418.20	0.0 ***
Interação G x C	1748	2.09	0.0 ***
Resíduo	3694		
AIC	60021		

*** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste F.

2.2.2. Comportamento da estrutura dos erros no período inicial (cortes 1-8), intermediário (cortes 9-16) e final (cortes 17-24)

Ao considerar todo o conjunto de dados, a melhor estrutura de erros segundo o critério de AIC foi a simetria composta heterogênea (CSH) (Tabela 5) bem como para os subconjuntos de dados do período inicial e intermediário (Tabela 7). Porém, para o subconjunto identificado do período final, verificou que a estrutura de matriz UN (não estruturada) se destacou como sendo a melhor opção (Tabela 7).

Com nosso trabalho demonstramos que não se deve generalizar sobre estruturas de erros mesmo para um conjunto de dados derivado de outro. Assim, recomenda-se que para cada análise, o pesquisador deve se preocupar em avaliar as várias opções e adotar aquela mais apropriada. Além disso, as causas de variações importantes devem ser realçadas e a variação residual devidamente estimada por meio da matriz de variância e covariâncias apropriada.

Tabela 7: Valores de AIC resultantes do ajuste de modelos com diferentes estruturas de matriz de variâncias-covariâncias residuais.

Período	Cortes	Estrutura					
		VC	CS	CSH	AR1	AR1H	UN
Inicial	1-8	20024	19967	19856	19988	19884	19879
Intermediário	9-16	20069	20040	19914	20068	19945	19931
Final	17-24	20389	20322	20170	20268	20145	20064

VC: componente de variância, CS: simetria composta, CSH: simetria composta heterogênea, AR1: auto-regressiva de primeira ordem, AR1H: auto-regressiva de primeira ordem heterogênea, UN: não estruturada.

2.3. Comparação do desempenho de genótipos de alfafa

Uma vez detectada a existência de variabilidade genética, torna-se necessário identificar, por meio de testes comparativos, os genótipos de maior média. Apesar da interação GxC ter sido significativa, o agricultor está interessado em saber qual cultivar que, ao longo dos ciclos de cultivos, se mostrou mais rentável com maior produção de matéria seca média (ou total). Assim, um teste comparativo de médias marginais, considerando todos os cortes, se faz necessário mesmo com interações GxC significativa. Entretanto, a consistência da superioridade do genótipo em cada corte deve ser avaliada como medida indireta da persistência da produção. Assim, dois genótipos com maiores médias finais podem ser diferenciados em relação à sua constância de produção ou a sua oscilação de produção (FAVERO et al., 2008; CHOO, 1984).

Novamente temos uma questão estatística a ser considerada na comparação das médias dos genótipos em cada corte, pois é necessário fazer uso de uma medida de erro que poderá ter diferentes magnitudes ao se considerar delineamentos em parcela subdividida ou modelos que contemplam a avaliação de diferentes estruturas de matrizes.

2.4. Abordagem tradicional fundamentada no agrupamento de médias com erros estimados em análise de variância em parcela subdividida no tempo

Na Tabela 8 verifica-se que os genótipos de melhor desempenho médio foram: 2, 8, 14, 16, 21, 22, 26, 34, 37, 38, 39, 40, 42, 56, 57, 60, 61, 62, 64, 66, 67, 72, 74, 75, 76, 77 (a cultivar Crioula). Nesse caso, todos aqueles com produtividade de matéria seca acima de 2000 kg/ha.

Entretanto, a informação da análise dentro de cada corte (Tabela 9) permite dizer que aqueles com maior persistência de superioridade foram os genótipos: 2, 16, 21, 40, 42, 61, 64, 66, 75, 77, considerando-se aqueles que mantiveram estabilidade da produção de matéria seca

em, no mínimo, 75% do período produtivo. Vale ressaltar que, destes o genótipo de maior destaque foi considerado de desempenho superior em, no máximo, 21 cortes.

Esta informação pode ser importante para o pesquisador, mas pode ser questionável tendo em vista que o teste foi realizado usando informações de resíduo que pode não ser o mais apropriado.

Tabela 8: Classificação de genótipo (G) segundo o teste de Scott-Knott ao nível de 5% considerando o quadrado médio do resíduo da anova PS (erros A, B e C).

G	Média	G	Média	G	Média	G	Média	G	Média
21	2275 a	16	2051 a	30	1978 b	36	1854 b	68	1631 c
61	2229 a	42	2048 a	45	1976 b	46	1853 b	18	1610 c
77	2218 a	39	2047 a	20	1971 b	28	1845 b	1	1594 c
64	2210 a	74	2037 a	5	1958 b	44	1844 b	32	1592 c
66	2190 a	38	2032 a	13	1956 b	52	1841 b	53	1572 c
40	2186 a	34	2031 a	10	1941 b	17	1825 b	50	1540 c
75	2178 a	62	2028 a	9	1934 b	33	1811 b	69	1500 c
2	2118 a	76	2024 a	12	1922 b	27	1800 b	70	1465 c
56	2117 a	8	2024 a	54	1911 b	71	1798 b	7	1449 c
14	2117 a	26	2006 a	24	1907 b	43	1780 b	55	1286 d
22	2111 a	41	1997 b	19	1906 b	51	1737 c	15	1285 d
67	2107 a	25	1997 b	59	1899 b	73	1718 c	35	1272 d
72	2100 a	29	1995 b	31	1878 b	49	1715 c	23	1171 d
57	2083 a	3	1991 b	11	1873 b	63	1706 c		
37	2072 a	4	1989 b	65	1871 b	47	1675 c		
60	2062 a	6	1987 b	48	1861 b	58	1665 c		

Tabela 9: Classificação de genótipo dentro de corte segundo o teste de Scott-Knott ao nível de 5% considerando o quadrado médio do resíduo da anova em PS (erros A, B e C).

G	Corte																								S(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
21	2570 a	2857 a	1800 b	1845 a	1533 a	1978 a	2210 a	1183 a	1637 a	1892 a	2348 a	2567 a	2955 a	1995 a	2458 a	2490 a	2087 a	2067 c	2082 a	1481 a	3120 a	2906 a	3230 a	3301 b	88
40	2564 a	2305 a	2488 a	1962 a	1625 a	1925 a	2133 a	1103 a	1685 a	1665 a	2043 a	2700 a	2475 a	1275 b	2147 a	2255 a	1833 a	1698 d	2140 a	1797 a	3404 a	3542 a	3418 a	2288 d	88
75	2305 b	2368 a	1893 a	1800 a	1510 a	1768 b	2048 a	902 a	1418 a	1583 a	2008 a	2533 a	2567 a	1518 a	2185 a	2270 a	1637 a	3448 a	2180 a	1974 a	3609 a	3432 a	2714 b	2609 d	83
61	2661 a	2387 a	1623 b	2282 a	1575 a	2375 a	2323 a	827 a	1873 a	2065 a	2100 a	2400 a	2767 a	1830 a	2363 a	2412 a	1768 a	2470 b	1942 a	1433 a	3324 a	2790 b	2731 b	3175 b	79
66	2267 b	2308 a	1863 a	1587 b	1550 a	2033 a	2018 a	1012 a	1388 a	1683 a	2198 a	2700 a	2360 b	1700 a	2148 a	2382 a	1470 a	3003 a	2195 a	1903 a	2808 b	3140 a	3390 a	3440 b	79
2	2196 b	2312 a	2117 a	1443 b	1478 a	1727 b	2170 a	1037 a	1433 a	1395 a	1948 a	2400 a	2583 a	1387 b	2757 a	2333 a	1902 a	1915 c	2148 a	1657 a	3078 a	3847 a	3283 a	2295 d	75
16	2073 b	2303 a	1840 a	1925 a	1678 a	1787 b	2245 a	1127 a	1373 a	1473 a	1943 a	2533 a	2790 a	1820 a	2613 a	2135 a	1663 a	1660 d	2335 a	1425 a	2843 b	1758 c	2999 a	2889 c	75
42	2469 a	2713 a	1838 a	1587 b	1363 b	1698 b	1782 b	807 a	1563 a	1893 a	1938 a	2033 a	2460 a	1528 a	2428 a	2108 a	1727 a	1928 c	1957 a	1548 a	3130 a	3143 a	3258 a	2248 d	75
64	2678 a	2775 a	2218 a	2162 a	2385 a	2160 a	2152 a	828 a	1577 a	1897 a	1460 b	2600 a	3825 a	1738 a	2412 a	2517 a	1722 a	2357 c	2205 a	1149 a	2182 c	2404 b	2472 c	3174 b	75
77	2117 b	2442 a	2287 a	1697 b	2013 a	2303 a	2153 a	1087 a	1778 a	1751 a	2230 a	2800 a	2357 b	1648 a	2298 a	2447 a	1712 a	2288 c	2482 a	1410 a	2933 a	3093 a	2720 b	3183 b	75
14	2822 a	2078 b	1954 a	1970 a	1445 b	2130 a	1880 a	1117 a	1557 a	1858 a	1985 a	2200 a	2687 a	1342 b	2365 a	1842 b	2007 a	2308 c	2313 a	1856 a	2882 a	3125 a	2740 b	2333 d	71
26	2148 b	2320 a	2027 a	2102 a	1667 a	2048 a	1862 a	1018 a	1307 a	1630 a	2323 a	2400 a	2048 b	1725 a	2098 a	2318 a	1920 a	1843 d	1980 a	1240 a	1868 c	2705 b	2822 b	2732 c	71
37	2470 a	2422 a	1720 b	2092 a	1933 a	2585 a	1840 a	1013 a	1315 a	1445 a	1882 a	2467 a	3012 a	1817 a	2350 a	2640 a	1302 a	1950 c	1903 a	994 b	2597 b	2552 b	2917 b	2520 d	71
38	2358 a	2047 b	1837 a	1755 a	1722 a	2595 a	2067 a	902 a	963 b	1567 a	1517 b	2150 a	2248 b	1552 a	2268 a	1970 b	1753 a	2743 b	1660 a	1581 a	2997 a	3059 a	3048 a	2412 d	71
56	3078 a	2698 a	2080 a	2222 a	1720 a	1627 b	2430 a	893 a	1365 a	1297 a	1498 b	2567 a	2298 b	1598 a	2272 a	2102 a	1673 a	2455 b	2053 a	1403 a	2826 b	2897 a	2386 c	3364 b	71
60	2541 a	2173 b	2162 a	1637 b	1583 a	1988 a	2002 a	1065 a	1423 a	1775 a	2002 a	2533 a	2205 b	1420 a	2335 a	1830 b	1420 a	1973 c	2103 a	1485 a	3243 a	3215 a	2499 c	2867 c	71
62	1966 b	2037 b	1603 b	1537 b	1505 a	2048 a	1830 a	748 a	1292 a	1550 a	2140 a	2267 a	2693 a	1578 a	2152 a	2285 a	1662 a	2605 b	2143 a	1773 a	3179 a	2695 b	3612 a	1772 e	71
34	2233 b	2148 b	1613 b	1582 b	1583 a	2030 a	2195 a	928 a	1167 a	1267 a	2142 a	2750 a	2550 a	1767 a	2442 a	2783 a	1528 a	2128 c	2100 a	1515 a	2713 b	3096 a	2334 c	2146 d	67
41	2336 a	2332 a	1617 b	1815 a	1410 b	1940 a	1908 a	652 a	1230 a	1797 a	2128 a	2633 a	2248 b	1222 b	2033 b	2067 a	1370 a	1845 d	2112 a	1668 a	3082 a	3185 a	2805 b	2496 d	67
57	2362 a	1905 b	2017 a	1458 b	1340 b	1848 a	2323 a	607 a	950 b	1775 a	1690 b	2767 a	2860 a	1310 b	2738 a	2678 a	1323 a	2090 c	2165 a	1697 a	3251 a	3088 a	3088 a	2661 c	67
76	2360 a	2492 a	2127 a	1732 a	1475 a	2197 a	2002 a	1067 a	1337 a	1583 a	1868 a	2467 a	2327 b	1732 a	2052 b	2610 a	945 b	1558 d	2110 a	1476 a	2628 b	2808 b	2680 b	2951 c	67
4	2678 a	2200 b	2055 a	1923 a	1577 a	1655 b	1880 a	862 a	1218 a	1630 a	1903 a	2433 a	2433 a	1472 a	1930 b	1795 b	1798 a	2565 b	2182 a	1109 a	2719 b	2307 b	2605 b	2807 c	63
8	2811 a	2095 b	1892 a	1487 b	1335 b	1835 a	2238 a	1083 a	1307 a	1540 a	1588 b	2833 a	2357 b	1710 a	2790 a	2317 a	1422 a	2035 c	1848 a	1259 a	2576 b	2351 b	3194 a	2676 c	63
20	1871 b	2018 b	1975 a	1780 a	1625 a	2238 a	2032 a	1255 a	1405 a	1437 a	2133 a	2467 a	2748 a	1552 a	1938 b	2722 a	1387 a	2065 c	2113 a	1032 b	2416 b	2221 c	2293 c	2576 d	63
22	1966 b	2090 b	1730 b	1813 a	1370 b	1938 a	1718 b	1070 a	1310 a	1665 a	2110 a	2433 a	2300 b	1258 b	2103 a	2608 a	1970 a	2335 c	2310 a	1483 a	3014 a	3150 a	2902 b	4013 a	63
25	2167 b	2232 a	2040 a	1655 b	1950 a	2232 a	1897 a	890 a	1308 a	1752 a	1975 a	2833 a	2843 a	1343 b	2397 a	2640 a	1600 a	1825 d	2318 a	884 b	2314 b	2060 c	2139 c	2633 d	63
39	2428 a	2302 a	1808 a	1675 b	1400 b	1852 a	1747 b	1090 a	1953 a	1573 a	2465 a	2667 a	3075 a	1685 a	2612 a	2745 a	1785 a	1693 d	2040 a	813 b	2154 c	2081 c	2725 b	2771 c	63
67	3178 a	2350 a	1745 b	1540 b	1408 b	2235 a	1777 b	1307 a	1423 a	1407 a	1735 b	2800 a	2430 a	1408 a	2468 a	2070 a	1693 a	2138 c	2402 a	1468 a	2892 a	2727 b	2710 b	3248 b	63
72	2071 b	2153 b	1985 a	1712 b	1408 b	2222 a	1733 b	915 a	1423 a	1888 a	1512 b	2900 a	2773 a	1717 a	2275 a	2268 a	1488 a	2055 c	2287 a	1588 a	2704 b	3014 a	2702 b	3614 a	63
5	2531 a	2367 a	1752 b	1378 b	1308 b	1885 a	2358 a	1050 a	1335 a	1550 a	1880 a	2333 a	1750 b	1477 a	2058 b	2445 a	1540 a	1225 e	2165 a	1432 a	2734 b	2694 b	2427 c	3307 b	58
6	2006 b	2207 b	1980 a	1682 b	1973 a	1742 b	2008 a	1213 a	1272 a	1340 a	1930 a	2600 a	2835 a	1950 a	1945 b	2363 a	1338 a	1608 d	2003 a	1096 a	2502 b	2284 b	2808 b	2993 c	58
9	2374 a	2438 a	1767 b	1643 b	1585 a	1567 b	2132 a	1063 a	1255 a	1880 a	1927 a	2433 a	2590 a	1350 b	2125 a	1743 b	1345 a	1353 d	1983 a	1250 a	2666 b	2691 b	2515 c	2745 c	58
29	2077 b	1982 b	1637 b	1452 b	1265 b	2335 a	2395 a	1002 a	1650 a	1650 a	2107 a	2300 a	3000 a	1635 a	2172 a	1943 b	1825 a	1615 d	2112 a	1138 a	2223 b	2906 a	2578 b	2874 c	58
65	2230 b	1973 b	2062 a	1457 b	1465 a	1583 b	1993 a	1017 a	1343 a	1102 a	1882 a	2567 a	2700 a	1588 a	2187 a	2277 a	1747 a	2585 b	2172 a	641 c	1706 c	1783 c	2150 c	2687 c	58
74	1955 b	2490 a	1680 b	1632 b	1635 a	1895 a	1948 a	835 a	1130 a	1560 a	1640 b	2633 a	3022 a	1395 b	2537 a	2327 a	1375 a	2363 c	2248 a	905 b	2790 b	2661 b	3098 a	3125 c	58
3	2723 a	2463 a	1470 b	1603 b	1630 a	2015 a	1573 b	1100 a	1062 b	1240 a	1955 a	2067 a	2268 b	1385 b	1965 b	2338 a	1737 a	1822 d	2147 a	1398 a	2915 a	2746 b	2813 b	3350 b	54
10	2481 a	2260 a	1737 b	1572 b	2113 a	1770 b	2017 a	1050 a	1315 a	1455 a	1963 a	2533 a	2260 b	1695 a	1840 b	1993 b	1573 a	1785 d	2058 a	1473 a	2608 b	2551 b	2454 c	2023 e	54
12	2755 a	1952 b	1490 b	1943 a	1158 b	2002 a	1598 b	1130 a	1430 a	1503 a	1740 b	2133 a	2115 b	1562 a	1758 b	2393 a	1458 a	1890 d	2168 a	1535 a	2625 b	2934 a	2469 c	2387 d	54
13	2033 b	1922 b	1847 a	1652 b	1357 b	1967 a	1745 b	953 a	1133 a	1747 a	2002 a	2767 a	2188 b	1673 a	2335 a	2780 a	1707 a	2270 c	2017 a	1290 a	2377 b	2495 b	2632 b	2047 e	54

Continuação Tabela 9...

G	Corte																								S(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
24	2741 a	2270 a	1602 b	1540 b	1262 b	2065 a	1855 a	835 a	785 b	1683 a	1657 b	2333 a	2352 b	1538 a	2028 b	2142 a	1660 a	1483 d	2287 a	1176 a	2158 c	2995 a	2815 b	2500 d	54
27	2617 a	2577 a	2017 a	1815 a	1593 a	1877 a	2188 a	1068 a	1187 a	1378 a	1688 b	2467 a	2503 a	1163 b	2004 b	1590 b	683 b	1183 e	1995 a	894 b	2056 c	1780 c	2147 c	2724 c	54
17	2940 a	2235 a	1690 b	1587 b	1497 a	1730 b	1865 a	763 a	1008 b	1378 a	1695 b	2333 a	2493 a	1552 a	2003 b	2295 a	1442 a	1870 d	2083 a	879 b	1845 c	1887 c	2485 c	2255 d	50
19	2530 a	2308 a	2133 a	1763 a	1438 b	1638 b	1798 b	890 a	655 b	1213 a	1613 b	2333 a	2467 a	1315 b	1718 b	2555 a	1355 a	2140 c	2233 a	1292 a	2677 b	2652 b	2539 b	2492 d	50
31	1770 b	1775 b	1907 a	1305 b	1172 b	1492 b	1750 b	1158 a	873 b	1460 a	2142 a	2233 a	2685 a	1352 b	2415 a	2188 a	1480 a	2040 c	2025 a	1335 a	2772 b	2974 a	2373 c	2390 d	50
43	2083 b	2147 b	2065 a	1972 a	1477 a	1707 b	1953 a	797 a	1235 a	1440 a	2295 a	2433 a	2528 a	1355 b	2162 a	2025 b	1205 b	873 e	1732 a	764 b	1695 c	2220 c	2374 c	2177 d	50
44	2518 a	2002 b	1560 b	1692 b	1228 b	1487 b	1678 b	1113 a	1158 a	1290 a	2108 a	2100 a	2592 a	1460 a	2412 a	1952 b	1653 a	1588 d	1907 a	1078 a	2694 b	2469 b	2725 b	1790 e	50
46	1991 b	2125 b	1652 b	2350 a	1548 a	1952 a	2000 a	1115 a	1018 b	1480 a	1987 a	2233 a	2505 a	1275 b	2203 a	2478 a	480 b	1875 d	2147 a	1012 b	2428 b	2090 c	2271 c	2261 d	50
54	1939 b	2137 b	2020 a	1618 b	1123 b	1767 b	1708 b	837 a	1263 a	1313 a	1773 b	2267 a	2798 a	1488 a	2508 a	1687 b	1648 a	1885 d	2003 a	1368 a	2444 b	2958 a	2754 b	2552 d	50
59	2382 a	2633 a	1763 b	1593 b	1475 a	2010 a	1627 b	1340 a	1017 b	1163 a	2108 a	2667 a	2612 a	1325 b	1940 b	2100 a	1510 a	1528 d	1998 a	810 b	2138 c	2391 b	2683 b	2774 c	50
30	2085 b	2302 a	1713 b	1563 b	1303 b	1763 b	1805 b	753 a	1240 a	1590 a	2105 a	2467 a	3073 a	1098 b	2325 a	2643 a	1323 a	2098 c	2365 a	1033 b	2681 b	2637 b	2436 c	3065 c	46
45	1985 b	2630 a	1763 b	1360 b	1308 b	1957 a	1720 b	933 a	1303 a	1688 a	2217 a	2400 a	2957 a	1378 b	2050 b	1882 b	1523 a	1578 d	2272 a	977 b	2852 b	2395 b	3430 a	2873 c	46
49	2782 a	2343 a	2150 a	2035 a	1667 a	2015 a	1427 b	1107 a	693 b	570 b	1875 a	2733 a	2075 b	783 b	1877 b	1628 b	1585 a	1508 d	1842 a	657 c	1593 c	1892 c	1536 d	2781 c	46
11	2088 b	2160 b	1388 b	1592 b	1130 b	1285 b	1935 a	1120 a	815 b	1600 a	1477 b	2533 a	2265 b	1730 a	2463 a	2147 a	1272 a	2257 c	2052 a	1291 a	2809 b	2422 b	2348 c	2780 c	42
36	2453 a	1977 b	1938 a	1675 b	1697 a	1752 b	1915 a	1065 a	957 b	1623 a	1637 b	2433 a	1855 b	1600 a	1995 b	2048 a	1152 b	2488 b	2017 a	879 b	2141 c	2481 b	2432 c	2284 d	42
63	2374 a	2452 a	1998 a	2142 a	1645 a	1787 b	1725 b	1257 a	1110 a	1368 a	1707 b	2433 a	2198 b	1325 b	1840 b	1370 b	1173 b	1483 d	1587 a	426 c	1176 d	1577 d	2602 b	2178 d	42
68	1967 b	2650 a	1975 a	1502 b	1467 a	1652 b	1287 b	628 a	1048 b	1365 a	1897 a	2333 a	2342 b	1495 a	1927 b	1576 b	1260 a	905 e	1880 a	540 c	1612 c	1529 d	2553 b	1750 e	42
28	1993 b	2437 a	1695 b	1633 b	1653 a	1775 b	2168 a	790 a	1387 a	1475 a	1580 b	2767 a	2000 b	1197 b	2203 a	1813 b	685 b	1622 d	1955 a	1017 b	2513 b	2646 b	2651 b	2630 d	38
48	2079 b	1833 b	1605 b	1310 b	1210 b	1728 b	1618 b	1050 a	1090 a	1120 a	1605 b	2600 a	2527 a	1635 a	2135 a	1930 b	1095 b	1943 c	2053 a	984 b	2320 b	2563 b	2873 b	3754 a	38
71	2265 b	2030 b	1820 a	1788 a	1287 b	1307 b	1892 a	675 a	902 b	815 b	1680 b	2467 a	2353 b	1425 a	2038 b	1732 b	1437 a	1863 d	2055 a	1203 a	2511 b	2739 b	2353 c	2507 d	38
51	2099 b	1817 b	1620 b	1538 b	843 b	1992 a	1880 a	760 a	862 b	1265 a	1695 b	2700 a	2135 b	1225 b	1723 b	2170 a	1333 a	2095 c	2005 a	832 b	1878 c	1863 c	2636 b	2729 c	33
52	1684 b	2027 b	1717 b	1705 b	1035 b	1948 a	1590 b	877 a	1333 a	1693 a	1655 b	1900 a	2128 b	1172 b	2198 a	1395 b	928 b	2613 b	2260 a	1166 a	2551 b	2653 b	2648 b	3308 b	33
73	1581 b	1860 b	1525 b	1433 b	1330 b	1580 b	1712 b	555 a	1305 a	1508 a	1758 b	1933 a	2595 a	1227 b	2643 a	1970 b	1393 a	2210 c	2113 a	847 b	1915 c	1944 c	2008 c	2281 d	33
32	2650 a	2088 b	1533 b	1570 b	1408 b	1490 b	1630 b	513 a	727 b	1103 a	1762 b	1900 a	2075 b	1708 a	1562 b	1658 b	2008 a	1388 d	1652 a	501 c	1619 c	1785 c	1810 d	2070 e	29
33	2238 b	2448 a	1440 b	1323 b	1235 b	1732 b	1490 b	888 a	1728 a	1590 a	1623 b	2233 a	2183 b	873 b	1628 b	1700 b	1190 b	1423 d	1997 a	976 b	2364 b	2384 b	2786 b	3982 a	29
47	2071 b	2403 a	1980 a	1508 b	1135 b	1482 b	1642 b	853 a	858 b	1090 a	1567 b	2433 a	2140 b	983 b	1782 b	2147 a	925 b	2318 c	1873 a	836 b	1877 c	2117 c	2111 c	2064 e	29
18	2025 b	2045 b	1258 b	1497 b	1183 b	1598 b	1745 b	620 a	543 b	603 b	1810 a	2633 a	1933 b	1588 a	1725 b	1910 b	1290 a	1530 d	1978 a	461 c	1873 c	1676 c	2622 b	2490 d	25
58	2098 b	2255 a	1558 b	1607 b	1373 b	2007 a	1667 b	765 a	813 b	623 b	1675 b	2333 a	2000 b	1298 b	1445 b	1508 b	1635 a	1692 d	2250 a	902 b	1441 d	1605 d	2222 c	3182 b	25
69	2010 b	2057 b	1787 b	1278 b	1317 b	1620 b	1602 b	515 a	477 b	365 b	2220 a	2133 a	2447 a	1493 a	1550 b	1425 b	745 b	1540 d	2260 a	435 c	1356 d	1205 d	1756 d	2415 d	25
1	2580 a	1922 b	1485 b	1245 b	1305 b	1602 b	1087 b	910 a	960 b	653 b	1318 b	2233 a	1993 b	1298 b	1580 b	1557 b	1332 a	1760 d	1882 a	486 c	2045 c	1744 c	2469 c	2812 c	21
50	2296 b	2002 b	1447 b	1183 b	1022 b	1490 b	1378 b	668 a	828 b	863 b	1400 b	1950 a	1325 b	687 b	2018 b	1860 b	1588 a	2150 c	2063 a	399 c	1224 d	1355 d	2037 c	3725 a	21
53	1849 b	2015 b	1525 b	1293 b	1097 b	1645 b	1355 b	690 a	1058 b	830 b	1300 b	2533 a	2423 a	1683 a	1875 b	1726 b	665 b	1740 d	2100 a	513 c	1971 c	1587 d	2259 c	1999 e	21
70	3050 a	2510 a	1497 b	1092 b	1197 b	1020 b	1603 b	750 a	415 b	420 b	1110 b	2333 a	2047 b	1092 b	1320 b	1448 b	780 b	1677 d	2100 a	516 c	1171 d	1203 d	2954 b	1865 e	21
7	2286 b	1783 b	1633 b	1405 b	1357 b	1270 b	1723 b	863 a	720 b	598 b	2035 a	2400 a	2020 b	1223 b	1698 b	1528 b	980 b	1390 d	1908 a	472 c	1102 d	1318 d	1651 d	1400 e	17
35	1898 b	1977 b	1285 b	1098 b	980 b	1515 b	1390 b	705 a	475 b	532 b	658 b	2033 a	1685 b	767 b	1805 b	1852 b	1273 a	825 e	1763 a	211 c	815 d	1389 d	1788 d	1821 e	17
15	1867 b	1842 b	1348 b	1105 b	1380 b	1485 b	1345 b	672 a	528 b	418 b	1517 b	1967 a	2022 b	1003 b	1638 b	835 b	553 b	343 e	1985 a	212 c	740 d	2273 b	1623 d	2133 d	13
23	1972 b	1546 b	1613 b	1200 b	1110 b	1117 b	1203 b	430 a	230 b	510 b	1253 b	2000 a	1677 b	703 b	1505 b	1223 b	985 b	753 e	1702 a	320 c	790 d	966 d	1479 d	1813 e	13
55	1371 b	1435 b	1383 b	935 b	838 b	1170 b	1472 b	508 a	510 b	502 b	1455 b	2100 a	1350 b	853 b	1752 b	1743 b	1127 b	1662 d	2122 a	405 c	1396 d	1477 d	1658 d	1645 e	13

S(%): Percentual de cortes em que o genótipo foi classificado como superior (recebeu "a") no teste de Skott-Knott.

2.5. Abordagem fundamentada no agrupamento de médias com erros identificados em estruturas variadas considerando as medidas sucessivas nos cultivares de alfafa

Nesta análise, cujos resultados são apresentados na Tabela 10, a informação da análise dentro de cada corte permite dizer que aqueles com maior persistência de superioridade (S%) foram os genótipos: 2, 4, 6, 8, 14, 19, 21, 22, 29, 42, 48, 52, 57, 61, 62, 66, 67, 72, 74, 75, 77 (cultivar Crioula), considerando-se aqueles que mantiveram estabilidade da produção de matéria seca em mais de 95% do ciclo produtivo. Sendo estes indicados como sendo o grupo de genótipos como o de maior potencial produtivo, a partir do ajuste da melhor estrutura de erros considerada para o conjunto de 24 cortes.

Deve-se destacar que esta informação é importante para o pesquisador, como medida indireta da persistência, e foi estabelecida com resíduos apropriados com base na matriz de variâncias e covariâncias de erros, que foi a CSH pelo critério de AIC, quando se considerou todo o conjunto de dados.

Como resultado desta análise, obteve-se uma S% dos genótipos consideravelmente maior em magnitude quando comparada aos resultados da anova em PS com três erros (A, B e C) para os mesmos genótipos. De modo que, há genótipos que foram considerados superiores em no mínimo 16 cortes. Tal resultado pode ser explicado pelo teste de Scott-Knott realizado dentro de corte, que detectou algumas diferenças menores como sendo estatisticamente significativas em relação diferenças maiores, dada a magnitude do QMRes da estrutura de erros considerada.

Apesar disso, a opção pelo modelo que permite flexibilizar a escolha de uma estrutura de erros mais adequada continua sendo preferível. Uma vez que este leva em consideração a natureza de dependência dos resíduos que existe para dados de medidas repetidas, como no caso da produtividade de matéria seca de alfafa, e que é ignorada no modelo de parcela subdividida no tempo com dois e três erros.

Por meio da modelagem considerando diferentes estruturas de erros, o pesquisador pode considerar a possibilidade de particionar o conjunto de dados, afim de obter um resultado em termos de variância residual mais condizente com a realidade da cultura (ciclo produtivo, características de manutenção da cultura no campo, ou condições climáticas no período de cultivo da cultura, etc).

Tabela 10: Classificação de genótipo dentro de corte segundo o teste de Scott-Knott ao nível de 5% considerando a variação residual descrita na matriz CSH obtida com a análise de todo conjunto de cortes.

G	Corte																								S(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
4	2678 a	2200 a	2055 a	1923 a	1577 a	1655 a	1880 a	862 a	1218 a	1630 a	1903 a	2433 a	2433 a	1472 a	1930 a	1795 a	1798 a	2565 a	2182 a	1109 a	2719 a	2307 a	2605 a	2807 a	100
21	2570 a	2857 a	1800 a	1845 a	1533 a	1978 a	2210 a	1183 a	1637 a	1892 a	2348 a	2567 a	2955 a	1995 a	2458 a	2490 a	2087 a	2067 a	2082 a	1481 a	3120 a	2906 a	3230 a	3301 a	100
57	2362 a	1905 a	2017 a	1458 a	1340 a	1848 a	2323 a	607 a	950 a	1775 a	1690 a	2767 a	2860 a	1310 a	2738 a	2678 a	1323 a	2090 a	2165 a	1697 a	3251 a	3088 a	3088 a	2661 a	100
61	2661 a	2387 a	1623 a	2282 a	1575 a	2375 a	2323 a	827 a	1873 a	2065 a	2100 a	2400 a	2767 a	1830 a	2363 a	2412 a	1768 a	2470 a	1942 a	1433 a	3324 a	2790 a	2731 a	3175 a	100
67	3178 a	2350 a	1745 a	1540 a	1408 a	2235 a	1777 a	1307 a	1423 a	1407 a	1735 a	2800 a	2430 a	1408 a	2468 a	2070 a	1693 a	2138 a	2402 a	1468 a	2892 a	2727 a	2710 a	3248 a	100
72	2071 a	2153 a	1985 a	1712 a	1408 a	2222 a	1733 a	915 a	1423 a	1888 a	1512 a	2900 a	2773 a	1717 a	2275 a	2268 a	1488 a	2055 a	2287 a	1588 a	2704 a	3014 a	2702 a	3614 a	100
2	2196 a	2312 a	2117 a	1443 a	1478 a	1727 a	2170 a	1037 a	1433 a	1395 a	1948 a	2400 a	2583 a	1387 a	2757 a	2333 a	1902 a	1915 a	2148 a	1657 a	3078 a	3847 a	3283 a	2295 b	96
6	2006 a	2207 a	1980 a	1682 a	1973 a	1742 a	2008 a	1213 a	1272 a	1340 a	1930 a	2600 a	2835 a	1950 a	1945 a	2363 a	1338 a	1608 b	2003 a	1096 a	2502 a	2284 a	2808 a	2993 a	96
8	2811 a	2095 a	1892 a	1487 a	1335 a	1835 a	2238 a	1083 a	1307 a	1540 a	1588 a	2833 a	2357 b	1710 a	2790 a	2317 a	1422 a	2035 a	1848 a	1259 a	2576 a	2351 a	3194 a	2676 a	96
14	2822 a	2078 a	1954 a	1970 a	1445 a	2130 a	1880 a	1117 a	1557 a	1858 a	1985 a	2200 a	2687 a	1342 a	2365 a	1842 a	2007 a	2308 a	2313 a	1856 a	2882 a	3125 a	2740 a	2333 b	96
19	2530 a	2308 a	2133 a	1763 a	1438 a	1638 a	1798 a	890 a	655 a	1213 a	1613 a	2333 a	2467 a	1315 a	1718 a	2555 a	1355 a	2140 a	2233 a	1292 a	2677 a	2652 a	2539 a	2492 b	96
22	1966 a	2090 a	1730 a	1813 a	1370 a	1938 a	1718 a	1070 a	1310 a	1665 a	2110 a	2433 a	2300 b	1258 a	2103 a	2608 a	1970 a	2335 a	2310 a	1483 a	3014 a	3150 a	2902 a	4013 a	96
29	2077 a	1982 a	1637 a	1452 a	1265 a	2335 a	2395 a	1002 a	1650 a	1650 a	2107 a	2300 a	3000 a	1635 a	2172 a	1943 a	1825 a	1615 b	2112 a	1138 a	2223 a	2906 a	2578 a	2874 a	96
42	2469 a	2713 a	1838 a	1587 a	1363 a	1698 a	1782 a	807 a	1563 a	1893 a	1938 a	2033 a	2460 a	1528 a	2428 a	2108 a	1727 a	1928 a	1957 a	1548 a	3130 a	3143 a	3258 a	2248 b	96
48	2079 a	1833 a	1605 a	1310 a	1210 a	1728 a	1618 a	1050 a	1090 a	1120 a	1605 a	2600 a	2527 a	1635 a	2135 a	1930 a	1095 a	1943 a	2053 a	984 b	2320 a	2563 a	2873 a	3754 a	96
52	1684 a	2027 a	1717 a	1705 a	1035 a	1948 a	1590 a	877 a	1333 a	1693 a	1655 a	1900 a	2128 b	1172 a	2198 a	1395 a	928 a	2613 a	2260 a	1166 a	2551 a	2653 a	2648 a	3308 a	96
62	1966 a	2037 a	1603 a	1537 a	1505 a	2048 a	1830 a	748 a	1292 a	1550 a	2140 a	2267 a	2693 a	1578 a	2152 a	2285 a	1662 a	2605 a	2143 a	1773 a	3179 a	2695 a	3612 a	1772 b	96
66	2267 a	2308 a	1863 a	1587 a	1550 a	2033 a	2018 a	1012 a	1388 a	1683 a	2198 a	2700 a	2360 b	1700 a	2148 a	2382 a	1470 a	3003 a	2195 a	1903 a	2808 a	3140 a	3390 a	3440 a	96
74	1955 a	2490 a	1680 a	1632 a	1635 a	1895 a	1948 a	835 a	1130 a	1560 a	1640 a	2633 a	3022 a	1395 a	2537 a	2327 a	1375 a	2363 a	2248 a	905 b	2790 a	2661 a	3098 a	3125 a	96
75	2305 a	2368 a	1893 a	1800 a	1510 a	1768 a	2048 a	902 a	1418 a	1583 a	2008 a	2533 a	2567 a	1518 a	2185 a	2270 a	1637 a	3448 a	2180 a	1974 a	3609 a	3432 a	2714 a	2609 b	96
77	2117 a	2442 a	2287 a	1697 a	2013 a	2303 a	2153 a	1087 a	1778 a	1751 a	2230 a	2800 a	2357 b	1648 a	2298 a	2447 a	1712 a	2288 a	2482 a	1410 a	2933 a	3093 a	2720 a	3183 a	96
3	2723 a	2463 a	1470 a	1603 a	1630 a	2015 a	1573 a	1100 a	1062 a	1240 a	1955 a	2067 a	2268 b	1385 a	1965 a	2338 a	1737 a	1822 b	2147 a	1398 a	2915 a	2746 a	2813 a	3350 a	92
9	2374 a	2438 a	1767 a	1643 a	1585 a	1567 a	2132 a	1063 a	1255 a	1880 a	1927 a	2433 a	2590 a	1350 a	2125 a	1743 a	1345 a	1353 b	1983 a	1250 a	2666 a	2691 a	2515 b	2745 a	92
11	2088 a	2160 a	1388 a	1592 a	1130 a	1285 a	1935 a	1120 a	815 a	1600 a	1477 a	2533 a	2265 b	1730 a	2463 a	2147 a	1272 a	2257 a	2052 a	1291 a	2809 a	2422 a	2348 b	2780 a	92
13	2033 a	1922 a	1847 a	1652 a	1357 a	1967 a	1745 a	953 a	1133 a	1747 a	2002 a	2767 a	2188 b	1673 a	2335 a	2780 a	1707 a	2270 a	2017 a	1290 a	2377 a	2495 a	2632 a	2047 b	92
16	2073 a	2303 a	1840 a	1925 a	1678 a	1787 a	2245 a	1127 a	1373 a	1473 a	1943 a	2533 a	2790 a	1820 a	2613 a	2135 a	1663 a	1660 b	2335 a	1425 a	2843 a	1758 b	2999 a	2889 a	92
30	2085 a	2302 a	1713 a	1563 a	1303 a	1763 a	1805 a	753 a	1240 a	1590 a	2105 a	2467 a	3073 a	1098 a	2325 a	2643 a	1323 a	2098 a	2365 a	1033 b	2681 a	2637 a	2436 b	3065 a	92
31	1770 a	1775 a	1907 a	1305 a	1172 a	1492 a	1750 a	1158 a	873 a	1460 a	2142 a	2233 a	2685 a	1352 a	2415 a	2188 a	1480 a	2040 a	2025 a	1335 a	2772 a	2974 a	2373 b	2390 b	92
34	2233 a	2148 a	1613 a	1582 a	1583 a	2030 a	2195 a	928 a	1167 a	1267 a	2142 a	2750 a	2550 a	1767 a	2442 a	2783 a	1528 a	2128 a	2100 a	1515 a	2713 a	3096 a	2334 b	2146 b	92
37	2470 a	2422 a	1720 a	2092 a	1933 a	2585 a	1840 a	1013 a	1315 a	1445 a	1882 a	2467 a	3012 a	1817 a	2350 a	2640 a	1302 a	1950 a	1903 a	994 b	2597 a	2552 a	2917 a	2520 b	92
38	2358 a	2047 a	1837 a	1755 a	1722 a	2595 a	2067 a	902 a	963 a	1567 a	1517 a	2150 a	2248 b	1552 a	2268 a	1970 a	1753 a	2743 a	1660 a	1581 a	2997 a	3059 a	3048 a	2412 b	92
40	2564 a	2305 a	2488 a	1962 a	1625 a	1925 a	2133 a	1103 a	1685 a	1665 a	2043 a	2700 a	2475 a	1275 a	2147 a	2255 a	1833 a	1698 b	2140 a	1797 a	3404 a	3542 a	3418 a	2288 b	92
44	2518 a	2002 a	1560 a	1692 a	1228 a	1487 a	1678 a	1113 a	1158 a	1290 a	2108 a	2100 a	2592 a	1460 a	2412 a	1952 a	1653 a	1588 b	1907 a	1078 a	2694 a	2469 a	2725 a	1790 b	92
45	1985 a	2630 a	1763 a	1360 a	1308 a	1957 a	1720 a	933 a	1303 a	1688 a	2217 a	2400 a	2957 a	1378 a	2050 a	1882 a	1523 a	1578 b	2272 a	977 b	2852 a	2395 a	3430 a	2873 a	92
54	1939 a	2137 a	2020 a	1618 a	1123 a	1767 a	1708 a	837 a	1263 a	1313 a	1773 a	2267 a	2798 a	1488 a	2508 a	1687 a	1648 a	1885 b	2003 a	1368 a	2444 a	2958 a	2754 a	2552 b	92
56	3078 a	2698 a	2080 a	2222 a	1720 a	1627 a	2430 a	893 a	1365 a	1297 a	1498 a	2567 a	2298 b	1598 a	2272 a	2102 a	1673 a	2455 a	2053 a	1403 a	2826 a	2897 a	2386 b	3364 a	92
60	2541 a	2173 a	2162 a	1637 a	1583 a	1988 a	2002 a	1065 a	1423 a	1775 a	2002 a	2533 a	2205 b	1420 a	2335 a	1830 a	1420 a	1973 a	2103 a	1485 a	3243 a	3215 a	2499 b	2867 a	92
64	2678 a	2775 a	2218 a	2162 a	2385 a	2160 a	2152 a	828 a	1577 a	1897 a	1460 a	2600 a	3825 a	1738 a	2412 a	2517 a	1722 a	2357 a	2205 a	1149 a	2182 b	2404 a	2472 b	3174 a	92
76	2360 a	2492 a	2127 a	1732 a	1475 a	2197 a	2002 a	1067 a	1337 a	1583 a	1868 a	2467 a	2327 b	1732 a	2052 a	2610 a	945 a	1558 b	2110 a	1476 a	2628 a	2808 a	2680 a	2951 a	92

Continuação Tabela 10...

G	Corte																								S(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
5	2531 a	2367 a	1752 a	1378 a	1308 a	1885 a	2358 a	1050 a	1335 a	1550 a	1880 a	2333 a	1750 b	1477 a	2058 a	2445 a	1540 a	1225 b	2165 a	1432 a	2734 a	2694 a	2427 b	3307 a	88
26	2148 a	2320 a	2027 a	2102 a	1667 a	2048 a	1862 a	1018 a	1307 a	1630 a	2323 a	2400 a	2048 b	1725 a	2098 a	2318 a	1920 a	1843 b	1980 a	1240 a	1868 b	2705 a	2822 a	2732 a	88
33	2238 a	2448 a	1440 a	1323 a	1235 a	1732 a	1490 a	888 a	1728 a	1590 a	1623 a	2233 a	2183 b	873 a	1628 a	1700 a	1190 a	1423 b	1997 a	976 b	2364 a	2384 a	2786 a	3982 a	88
41	2336 a	2332 a	1617 a	1815 a	1410 a	1940 a	1908 a	652 a	1230 a	1797 a	2128 a	2633 a	2248 b	1222 a	2033 a	2067 a	1370 a	1845 b	2112 a	1668 a	3082 a	3185 a	2805 a	2496 b	88
59	2382 a	2633 a	1763 a	1593 a	1475 a	2010 a	1627 a	1340 a	1017 a	1163 a	2108 a	2667 a	2612 a	1325 a	1940 a	2100 a	1510 a	1528 b	1998 a	810 b	2138 b	2391 a	2683 a	2774 a	88
10	2481 a	2260 a	1737 a	1572 a	2113 a	1770 a	2017 a	1050 a	1315 a	1455 a	1963 a	2533 a	2260 b	1695 a	1840 a	1993 a	1573 a	1785 b	2058 a	1473 a	2608 a	2551 a	2454 b	2023 b	83
12	2755 a	1952 a	1490 a	1943 a	1158 a	2002 a	1598 a	1130 a	1430 a	1503 a	1740 a	2133 a	2115 b	1562 a	1758 a	2393 a	1458 a	1890 b	2168 a	1535 a	2625 a	2934 a	2469 b	2387 b	83
20	1871 a	2018 a	1975 a	1780 a	1625 a	2238 a	2032 a	1255 a	1405 a	1437 a	2133 a	2467 a	2748 a	1552 a	1938 a	2722 a	1387 a	2065 a	2113 a	1032 b	2416 a	2221 b	2293 b	2576 b	83
24	2741 a	2270 a	1602 a	1540 a	1262 a	2065 a	1855 a	835 a	785 a	1683 a	1657 a	2333 a	2352 b	1538 a	2028 a	2142 a	1660 a	1483 b	2287 a	1176 a	2158 b	2995 a	2815 a	2500 b	83
28	1993 a	2437 a	1695 a	1633 a	1653 a	1775 a	2168 a	790 a	1387 a	1475 a	1580 a	2767 a	2000 b	1197 a	2203 a	1813 a	685 a	1622 b	1955 a	1017 b	2513 a	2646 a	2651 a	2630 b	83
39	2428 a	2302 a	1808 a	1675 a	1400 a	1852 a	1747 a	1090 a	1953 a	1573 a	2465 a	2667 a	3075 a	1685 a	2612 a	2745 a	1785 a	1693 b	2040 a	813 b	2154 b	2081 b	2725 a	2771 a	83
51	2099 a	1817 a	1620 a	1538 a	843 a	1992 a	1880 a	760 a	862 a	1265 a	1695 a	2700 a	2135 b	1225 a	1723 a	2170 a	1333 a	2095 a	2005 a	832 b	1878 b	1863 b	2636 a	2729 a	83
65	2230 a	1973 a	2062 a	1457 a	1465 a	1583 a	1993 a	1017 a	1343 a	1102 a	1882 a	2567 a	2700 a	1588 a	2187 a	2277 a	1747 a	2585 a	2172 a	641 b	1706 b	1783 b	2150 b	2687 a	83
25	2167 a	2232 a	2040 a	1655 a	1950 a	2232 a	1897 a	890 a	1308 a	1752 a	1975 a	2833 a	2843 a	1343 a	2397 a	2640 a	1600 a	1825 b	2318 a	884 b	2314 a	2060 b	2139 b	2633 b	79
27	2617 a	2577 a	2017 a	1815 a	1593 a	1877 a	2188 a	1068 a	1187 a	1378 a	1688 a	2467 a	2503 a	1163 a	2004 a	1590 a	683 a	1183 b	1995 a	894 b	2056 b	1780 b	2147 b	2724 a	79
36	2453 a	1977 a	1938 a	1675 a	1697 a	1752 a	1915 a	1065 a	957 a	1623 a	1637 a	2433 a	1855 b	1600 a	1995 a	2048 a	1152 a	2488 a	2017 a	879 b	2141 b	2481 a	2432 b	2284 b	79
46	1991 a	2125 a	1652 a	2350 a	1548 a	1952 a	2000 a	1115 a	1018 a	1480 a	1987 a	2233 a	2505 a	1275 a	2203 a	2478 a	480 a	1875 b	2147 a	1012 b	2428 a	2090 b	2271 b	2261 b	79
71	2265 a	2030 a	1820 a	1788 a	1287 a	1307 a	1892 a	675 a	902 a	815 b	1680 a	2467 a	2353 b	1425 a	2038 a	1732 a	1437 a	1863 b	2055 a	1203 a	2511 a	2739 a	2353 b	2507 b	79
73	1581 a	1860 a	1525 a	1433 a	1330 a	1580 a	1712 a	555 a	1305 a	1508 a	1758 a	1933 a	2595 a	1227 a	2643 a	1970 a	1393 a	2210 a	2113 a	847 b	1915 b	1944 b	2008 b	2281 b	79
17	2940 a	2235 a	1690 a	1587 a	1497 a	1730 a	1865 a	763 a	1008 a	1378 a	1695 a	2333 a	2493 a	1552 a	2003 a	2295 a	1442 a	1870 b	2083 a	879 b	1845 b	1887 b	2485 b	2255 b	75
43	2083 a	2147 a	2065 a	1972 a	1477 a	1707 a	1953 a	797 a	1235 a	1440 a	2295 a	2433 a	2528 a	1355 a	2162 a	2025 a	1205 a	873 b	1732 a	764 b	1695 b	2220 b	2374 b	2177 b	75
47	2071 a	2403 a	1980 a	1508 a	1135 a	1482 a	1642 a	853 a	858 a	1090 a	1567 a	2433 a	2140 b	983 a	1782 a	2147 a	925 a	2318 a	1873 a	836 b	1877 b	2117 b	2111 b	2064 b	75
50	2296 a	2002 a	1447 a	1183 a	1022 a	1490 a	1378 a	668 a	828 a	863 b	1400 a	1950 a	1325 b	687 a	2018 a	1860 a	1588 a	2150 a	2063 a	399 b	1224 c	1355 b	2037 b	3725 a	75
63	2374 a	2452 a	1998 a	2142 a	1645 a	1787 a	1725 a	1257 a	1110 a	1368 a	1707 a	2433 a	2198 b	1325 a	1840 a	1370 a	1173 a	1483 b	1587 a	426 b	1176 c	1577 b	2602 a	2178 b	75
68	1967 a	2650 a	1975 a	1502 a	1467 a	1652 a	1287 a	628 a	1048 a	1365 a	1897 a	2333 a	2342 b	1495 a	1927 a	1576 a	1260 a	905 b	1880 a	540 b	1612 b	1529 b	2553 a	1750 b	75
1	2580 a	1922 a	1485 a	1245 a	1305 a	1602 a	1087 a	910 a	960 a	653 b	1318 a	2233 a	1993 b	1298 a	1580 a	1557 a	1332 a	1760 b	1882 a	486 b	2045 b	1744 b	2469 b	2812 a	71
15	1867 a	1842 a	1348 a	1105 a	1380 a	1485 a	1345 a	672 a	528 a	418 b	1517 a	1967 a	2022 b	1003 a	1638 a	835 a	553 a	343 b	1985 a	212 b	740 c	2273 a	1623 b	2133 b	71
18	2025 a	2045 a	1258 a	1497 a	1183 a	1598 a	1745 a	620 a	543 a	603 b	1810 a	2633 a	1933 b	1588 a	1725 a	1910 a	1290 a	1530 b	1978 a	461 b	1873 b	1676 b	2622 a	2490 b	71
32	2650 a	2088 a	1533 a	1570 a	1408 a	1490 a	1630 a	513 a	727 a	1103 a	1762 a	1900 a	2075 b	1708 a	1562 a	1658 a	2008 a	1388 b	1652 a	501 b	1619 b	1785 b	1810 b	2070 b	71
49	2782 a	2343 a	2150 a	2035 a	1667 a	2015 a	1427 a	1107 a	693 a	570 b	1875 a	2733 a	2075 b	783 a	1877 a	1628 a	1585 a	1508 b	1842 a	657 b	1593 b	1892 b	1536 b	2781 a	71
53	1849 a	2015 a	1525 a	1293 a	1097 a	1645 a	1355 a	690 a	1058 a	830 b	1300 a	2533 a	2423 a	1683 a	1875 a	1726 a	665 a	1740 b	2100 a	513 b	1971 b	1587 b	2259 b	1999 b	71
58	2098 a	2255 a	1558 a	1607 a	1373 a	2007 a	1667 a	765 a	813 a	623 b	1675 a	2333 a	2000 b	1298 a	1445 a	1508 a	1635 a	1692 b	2250 a	902 b	1441 c	1605 b	2222 b	3182 a	71
69	2010 a	2057 a	1787 a	1278 a	1317 a	1620 a	1602 a	515 a	477 a	365 b	2220 a	2133 a	2447 a	1493 a	1550 a	1425 a	745 a	1540 b	2260 a	435 b	1356 c	1205 b	1756 b	2415 b	71
70	3050 a	2510 a	1497 a	1092 a	1197 a	1020 a	1603 a	750 a	415 a	420 b	1110 a	2333 a	2047 b	1092 a	1320 a	1448 a	780 a	1677 b	2100 a	516 b	1171 c	1203 b	2954 a	1865 b	71
7	2286 a	1783 a	1633 a	1405 a	1357 a	1270 a	1723 a	863 a	720 a	598 b	2035 a	2400 a	2020 b	1223 a	1698 a	1528 a	980 a	1390 b	1908 a	472 b	1102 c	1318 b	1651 b	1400 b	67
23	1972 a	1546 a	1613 a	1200 a	1110 a	1117 a	1203 a	430 a	230 a	510 b	1253 a	2000 a	1677 b	703 a	1505 a	1223 a	985 a	753 b	1702 a	320 b	790 c	966 b	1479 b	1813 b	67
35	1898 a	1977 a	1285 a	1098 a	980 a	1515 a	1390 a	705 a	475 a	532 b	658 a	2033 a	1685 b	767 a	1805 a	1852 a	1273 a	825 b	1763 a	211 b	815 c	1389 b	1788 b	1821 b	67
55	1371 a	1435 a	1383 a	935 a	838 a	1170 a	1472 a	508 a	510 a	502 b	1455 a	2100 a	1350 b	853 a	1752 a	1743 a	1127 a	1662 b	2122 a	405 b	1396 c	1477 b	1658 b	1645 b	67

S(%): Percentual de cortes em que o genótipo foi classificado como superior (recebeu "a") no teste de Skott-Knott.

Tendo em vista que a interação GXC foi significativa, o teste de agrupamento realizado a partir das médias marginais não reflete a superioridade de produtividade dos genótipos durante o ciclo produtivo. Dessa forma, o $S\%$ é indicado como uma medida de persistência, que por sua vez facilita a visualização do melhorista e do próprio produtor ao adquirir uma cultivar. Tal medida indica a superioridade de produção considerando os diferentes cortes em um mesmo genótipo de alfafa.

CONCLUSÃO

O modelo em parcela subdividida (contemplando dois ou três erros) e as realizadas investigando estruturas de erros mais apropriadas na avaliação da produção de genótipos de alfafa foram concordantes em apontar efeito significativo de cortes, genótipos e genótipos x cortes.

Variadas estruturas de erros conduziram a resultados em que era possível melhor descrever a variação dos efeitos principais.

Conjuntos de dados diferentes podem ser melhor ajustados com matrizes de erros diferentes. A investigação de mais possibilidades de estruturas portanto é recomendada.

A persistência ($S\%$) da produção de matéria seca como medida indireta mostrou-se uma ferramenta importante na seleção de genótipos de alfafa.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723, 1974.

BOTREL, M.A. et al. Cultivares de alfafa em área de influência da Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.11, p.1437-1442, 2001.

CECON, P. R.; SILVA, F. F.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R.G.; CARNEIRO, A. P. S.; DETMANN, E.; FARIA, P. N.; MORAIS, T.S. S. Análise de medidas repetidas na avaliação de clones de café 'Conilon'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 9, p. 1171-1176, 2008.

CHOO, T.M. Association between growth habit and persistence in red clover. *Euphytica*, v.33, n.1, p.177-185, 1984.

CRUZ, C.D. 2013. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy* v.35, n.3, p.271-276.

CRUZ, C.D. 2016. Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy* v.38, n.4, p.547-552.

DAHER, Rogério Figueiredo et al. Estimativas de parâmetros genéticos e de coeficientes de repetibilidade de caracteres forrageiros em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 26, n. 4, p. 483-490, 2004.

FAVERO, D.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; DALL'AGNOL, M.; SECO, D. Desempenho de populações de alfafa sob desfolhação. *Revista brasileira de zootecnia*, v. 37, n. 4, p. 589-595, 2008.

FERREIRA, R. P.; VASCONCELOS, E. S.; CRUZ, C. D.; BARIONI JÚNIOR, W.; RASSINI, J. B.; FREITAS, A. R.; VILELA, D.; MOREIRA, A. Determinação do coeficiente de repetibilidade e estabilização genotípica das características agrônômicas avaliadas em genótipos de alfafa no ano de estabelecimento. *Ceres*, v. 57, n. 5, 2010.

FERREIRA, R. P.; VILELA, D.; TUPY, O.; COMERÓN, E. A.; BASIGALUP, D. H.; BERNARDI, A. C. C., KUWAHARA, F. A.; KARAM, D. Potencial forrageiro da alfafa para alimentação de vacas de leite nos trópicos. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. (Eds.). *Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos*. Brasília - DF: Embrapa, 2016. p. 213-238.

FREITAS, E.G.; BARBIN, D.; BARBOSA, G.V.S.; CARNEIRO, M.S.; BASSINELLO, A.I. Modelo univariado aplicado a dados longitudinais de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Biometria*, v.26, p.93-16, 2008.

GUINES, F. et al. Genetic control of quality traits of Lucerne (*Medicago sativa* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, v.53, p.401-407, 2002.

JULIER, B.; HUYGHE, C.; ECALE, C. Within and among cultivar genetic variation in alfafa: Forage quality, morphology in a yield. *Crop Science*, v.40, p.365-369, 2000.

KATEPA-MUPONDWA, F.M.; CHRISTIE, B.R.; MICHAELS, T.E. An improved breedings strategy for autotetraploidy alfafa (*Medicago sativa* L.). *Euphytica*, v.123, p.139-146, 2002.

OLIVEIRA, E. S.; DAHER, R. F.; TUNES, E. N.; SOARES, R. T. R. N.; GONÇALVES, A. C. S.; GRAVIN, G. A. Potencial de germinação de estacas e avaliação de características morfoagronômicas em seis cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos em Campos dos Goytacazes, RJ. *Natureza on line*, v. 10, n. 1, p. 39-45, 2012.

QUINTAL, S.S.R. Melhoramento da goiabeira *P. guajava* via metodologia de modelos mistos. 193f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ. 2013.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. de. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: UFLA, 2000. 326p.

RASSINI, J. B., FERREIRA, R. D. P.; CAMARGO, A. C. Cultivo e estabelecimento da alfafa. In: FERREIRA, R. P. et al. (Eds.). *Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p.23-37.

RODRIGUES, A. A.; COMERÓN, E. A.; VILELA, D. Potencial forrageiro da alfafa para alimentação de vacas de leite nos trópicos. In: FERREIRA, R. P. et al. (Eds.). *Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 345-378.

SOUZA SOBRINHO, F. D.; SILVA, F. J. L.; PEREIRA, A. V.; BOTREL, M. A., EVANGELISTA, A. R.; VIANA, M. C. M. Estimativas de repetibilidade para produção de matéria seca em alfafa. *Ciência Rural*, v. 34, n. 2, 2004.

TUPY, O.; FERREIRA, R. P.; VILELA, D.; ESTEVES, S. N.; KUWAHARA, F. A.; ALVES, E. Viabilidade econômica e financeira do pastejo em alfafa em sistemas de produção de leite. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 24, n. 2, 2015.

VILELA, D.; FERREIRA, R. P.; RODRIGUES, A. A.; RASSINI, J. B.; TUPY, O. Prioridades de pesquisa e futuro da alfafa no Brasil. In: FERREIRA, R. P. et al. (Eds.). *Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p.441-455

Vilela, D.; Juntolli, F. V. ALFAFA: POTENCIAL PARA APOIAR A EXPANSÃO DA PECUÁRIA E OS SISTEMAS AGROALIMENTAR E AGROINDUSTRIAL DA AMÉRICA LATINA. In: Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Alfafa : do cultivo aos múltiplos usos / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação*. – Brasília : MAPA/AECS, 2020. p.15-19

CAPÍTULO 2

Análise multi-informação para fins de recomendação de cultivares de alfafa quanto a adaptabilidade e estabilidade fenotípica

Análise multi-informação para fins de recomendação de cultivares de alfafa quanto a adaptabilidade e estabilidade fenotípica

RESUMO

A interação genótipos x ambientes é um grande desafio para os programas de melhoramento e na cultura da alfafa não é diferente. Devido a sua importância como uma leguminosa forrageira e a seleção ser baseada em cortes no tempo (ambientes) para produção de forragem, o objetivo do presente estudo foi propor a utilização de uma ficha de recomendação por meio da avaliação multi-informação. Foram utilizadas informações de 77 genótipos de alfafa, envolvendo um período de cultivo com 24 cortes (meses) consecutivos no período de 2015 a 2017. O delineamento utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por quatro linhas de 4 m de comprimento, com espaçamento de 20 cm entre fileiras. A área útil da parcela era as duas fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade. O caráter avaliado foi produção de matéria seca (PMS) (kg.ha⁻¹). A avaliação multi-informação foi realizada a partir da avaliação de 10 parâmetros, sendo eles, a média geral, potencial médio em diferentes condições ambientais (PM), plasticidade, medida da contribuição relativa para a interação, índice de recomendação Annicchiarico, adaptabilidade percentual, estabilidade percentual, padrão J de resposta do genótipo (PJR), padrão campeão e índice de recomendação centroide. Por meio do ranqueamento obtido na ficha de recomendação foi possível observar que o genótipo 21 se destacou para os parâmetros PM para ambiente geral e favorável. Entretanto, para PM no ambiente desfavorável o genótipo 61 ficou em primeira posição. Vale destacar, que mesmo o genótipo 21 não estando classificado como primeiro colocado está muito bem ranqueado com a terceira posição. E, ainda que tivéssemos que selecionar apenas um genótipo, entre o 21 e 61 para o parâmetro PJR, tomaríamos a decisão de não selecionar o genótipo 61, pois este apresentou desvio da regressão estatisticamente diferente a zero e o seu grau de imprevisibilidade deve comprometer a indicação da cultivar, uma vez que o seu R² está abaixo de 80%. A ficha de recomendação por meio da análise multi-informação proposta neste trabalho possibilita o melhorista a tomada de decisão na seleção de genótipos superiores de alfafa. A análise multi-informação possibilitou identificar o genótipo 21 como o mais promissor por apresentar superioridade relativa de PMS, de comportamento previsível e responsivo às variações ambientais, em diferentes cortes.

Palavras-chave: adaptabilidade e estabilidade, multi-informação, biometria, interação GA.

INTRODUÇÃO

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma das principais leguminosas forrageiras nos países temperados (Annicchiarico et al., 2015; Ferreira et al., 2008) que tem utilização crescente no Brasil, visto suas ótimas características como alto teor proteico, por exemplo (FERREIRA E VILELA, 2015). A Embrapa Pecuária Sudeste possui germoplasma de alfafa composto por 77 acessos de background genético temperado. A empresa realiza avaliações rotineiras do material a fim de formar populações sintéticas bem adaptadas ao Brasil. Com o aumento da área plantada no país e sua expansão para a Região Sudeste, que se deve à crescente implantação de sistemas intensivos de produção leiteira, a demanda por alimentos de alto valor nutritivo também tem aumentado. Levando em conta a crescente relevância dessa forrageira no Brasil, torna-se necessária a seleção de cultivares mais adaptadas às nossas condições edafoclimáticas, de maneira a permitir maiores rendimentos e redução dos custos com a cultura.

A manifestação fenotípica é resultado da ação do genótipo sob a influência do ambiente. Entretanto, quando se avalia uma série de cortes, detecta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação destes (genótipo x ambiente) (EEUWIJK et al. 2016).

A interação genótipos x ambientes ainda é uma das maiores dificuldades dos programas de melhoramento de qualquer espécie, tanto na fase de seleção, quanto na de recomendação de cultivares. Caso exista interação, um mesmo genótipo pode expressar comportamento diferencial ao longo dos cortes devido à expressão diferencial dos seus genes de acordo com as influências ambientais (CRUZ, 2012). Desta forma, estudos pormenorizados sobre o comportamento dos genótipos nos vários ambientes (corte) avaliados são essenciais para a recomendação de cultivares adaptados a determinado sistema de cultivo. Tais estudos se baseiam no comportamento dos genótipos descrevendo sua adaptabilidade e estabilidade (CHAVES, 2001; MAIA et al. 2013) amplamente utilizados em culturas anuais em que os ambientes representam regiões independentes de cultivo da espécie. A adaptabilidade pode ser definida como a capacidade dos genótipos em responder vantajosamente aos estímulos ambientais, e a estabilidade pode ser definida como a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível frente aos estímulos ambientais (CRUZ, 2014), podendo ser aplicados tanto em culturas anuais como em perenes, mesmo nas condições em que

ambientes possam ser representados por períodos de cortes, em tempos sucessivos, dos genótipos como ocorre em alfafa.

Nesse contexto, para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade diversos métodos estatísticos podem ser utilizados, os quais diferem quanto aos princípios estatísticos, aos procedimentos biométricos e a interpretação dos resultados (EEUWIJK et al. 2016). Segundo Cargnelutti Filho et al. (2007) esses métodos podem ser dispostos em diversas classes, como aqueles baseados em análise de variância (YATES e COCHRAN 1938; PLAISTED e PETERSON 1959; WRICKE 1965), regressão linear (FINLAY e WILKINSON 1963; EBERHART e RUSSELL 1966; TAI 1971), regressão bissegmentada (VERMA et al., 1978; SILVA e BARRETO, 1985; CRUZ et al., 1989), em estatísticas não-paramétricas (LIN e BINNS, 1988; HUEHN 1990; ANNICCHIARICO, 1992; ROCHA et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2010 e 2015), regressão quantílica (BARROSO et al. 2015), estatística Bayesiana (COUTO et al. 2015; NASCIMENTO et al. 2011) e inteligência computacional (NASCIMENTO et al., 2013; TEODORO et al., 2015; CARNEIRO et al., 2018; CARNEIRO et al., 2019).

É possível encontrar trabalhos que comparam algumas dessas metodologias em diversas culturas, tais como milho (OLIVEIRA et al., 2013; BUJAK et al., 2014; FARIA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017), cana-de-açúcar (PAULA et al., 2014), soja (BARROS et al., 2010; BATISTA et al., 2015; FREITAS MONTEIRO et al., 2015; WOYANN et al., 2018), trigo (ROOSTAEI et al., 2014), ervilha (FIKERE et al., 2014), feijão (NUNES et al., 2014) e arroz (AKTER et al., 2019; SILVA et al., 2019). Entretanto, não é pertinente comparar tais metodologias, uma vez que cada metodologia visa apresentar resultados como respostas à diferentes perguntas, mesmo apesar de algumas metodologias apresentarem iguais estimativas.

Apesar de ser possível observar uma ampla variedade de métodos disponíveis para o estudo de adaptabilidade e estabilidade, o surgimento de novas metodologias indica que apesar de serem de grande utilidade para o melhorista, tais métodos ainda são insuficientes para estudar um fenômeno tão complexo. Entretanto, a utilização simultânea de algumas metodologias, por meio de uma análise multi-informação para recomendação de cultivares, pode ser capaz de extrair informações impossíveis de serem observadas com o uso de cada metodologia separadamente.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi identificar genótipos superiores de alfafa e enfatizar a necessidade de se ter uma descrição ampla do comportamento dos genótipos, em termos de resposta às variações ambientais (cortes sucessivos), a partir de métodos já

estabelecidos na literatura explorando as particularidades de cada técnica que, em conjunto, estabelecem um critério de multi-informação para recomendação de cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição dos experimentos

Para realização deste estudo foram utilizadas informações de genótipos de alfafa, envolvendo um período de cultivo com 24 cortes. Os ensaios experimentais foram realizados na Embrapa Pecuária Sudeste localizada no município de São Carlos, latitude 22° 01' 03" S e longitude 47° 53' 27" W". Os cortes ocorreram entre os meses de novembro de 2015 e novembro de 2017, totalizando 24 cortes (meses) consecutivos, exceto para o mês de maio de 2017 em que não foi realizado o corte.

O delineamento utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, com três repetições. Cada unidade experimental era constituída por quatro linhas de 4 m de comprimento, com espaçamento de 20 cm entre fileiras. A área útil da parcela era as duas fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade. O experimento foi conduzido com irrigação, com exceção dos cortes 8 (junho/2016), 9(julho/2016), 10 (agosto/2016), 19 (junho/2017), 20 (julho/2017) e 21 (agosto/2017), que estavam sob déficit hídrico. Todos os demais tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura. Em cada corte foram coletados dados de 76 genótipos mais uma testemunha, a cultivar Crioula, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Genótipos de alfafa avaliados no período de 2015 a 2017 no município de São Carlos, SP.

Genótipos		Genótipos	
1	5681	39	Maitena
2	ACA 900	40	Mecha
3	ACA 901	41	MEDINA
4	ACTIVA 42	42	Milonga II
5	Bacana 43	43	MONARCA
6	BACANA	44	MONARCA SP INTA
7	Bar Pal 5	45	P 30
8	Bar Pal 10	46	P 5715
9	Baralfa 85	47	Patriarca

10	BÁRBARA SP INTA	48	PATRICIA
11	CALIFORNIA 50	49	Pintado
12	CUF 101	50	PINTO
13	CW 1010	51	PRIMAVERA
14	CW 194	52	ProINTA Carmina
15	CW 620	53	ProINTA Luján
16	CW 830	54	ProINTA Mora
17	DIAMOND	55	ProINTA Patricia 1
18	DK 166	56	ProINTA Patricia 2
19	DK 181	57	ProINTA Super Monarca
20	DK 187 R	58	Queen 910
21	DK 192	59	RIO GRANDE
22	DK 194	60	Ruano
23	Don Enrique	61	Ruano
24	F 708	62	SEQUEL
25	FLÓRIDA 77	63	SEQUEL 2
26	G 909	64	SIRIVER 2
27	GAPP 969	65	SPS 6550
28	Gateado	66	TRINIDAD 87
29	KERN	67	Verdor
30	LE N 1	68	Verz
31	LE N 2	69	VICTORIA SP INTA
32	LE N 3	70	Villa
33	LE N 4	71	WINTER
34	LPS 8500	72	WL 1058
35	Magna 601	73	WL 516
36	Magna 804	74	WL 525
37	Magna 860	75	WL 818
38	Magna 868	76	WL 903
		77	Crioula

O caráter avaliado foi produção de matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) medida pelos cortes feitos a uma altura de 8 a 10 cm do nível do solo, sempre que cada genótipo atingia 10% da floração ou quando as brotações basais atingissem altura média de 3 a 5 cm.

Recomendação de genótipos baseada em análise multi-informação

A modelagem estatística foi realizada por meio da existência de medidas repetidas a partir do seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + C_j + GC_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

em que:

Y_{ijk} é valor de produção de matéria seca da genótipos i ($i = 1, 2, \dots, 77$), no corte j ($j = 1, 2, \dots, 24$) e na repetição k ($k = 1, 2$ e 3);

μ : média geral;

B_k : efeito do bloco k ;

G_i : efeito de genótipo i ;

ε_{ij} erro aleatório a;

C_j efeito de corte j ;

θ_{jk} erro aleatório b;

GC_{ij} efeito da interação da genótipos i com o corte j ;

δ_{ijk} erro aleatório c.

Sendo as estruturas de erros conforme ilustrado a seguir, em caso particular de blocos de matrizes aplicáveis a situações de 4 cortes (dimensão 4 x 4, ilustrativa):

Simetria Composta - CS

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 + \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma^2 + \sigma_2^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma^2 + \sigma_3^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma^2 + \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Simetria Composta Heterogênea - CSH

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_1\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_4\rho & \sigma_2\sigma_4\rho & \sigma_3\sigma_4\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Auto-Regressiva de 1ª Ordem - AR(1)

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^2 & \rho & 1 & \rho \\ \rho^3 & \rho^2 & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

Auto-Regressiva de 1ª Ordem

Heterogênea - ARH(1)

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_1\sigma_4\rho^3 \\ \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho^2 \\ \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_1\sigma_4\rho^3 & \sigma_2\sigma_4\rho^2 & \sigma_3\sigma_4\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Componente de Variância - VC

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

Não Estruturada - UN

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{14} & \sigma_{24} & \sigma_{34} & \sigma_{44} \end{bmatrix}$$

A estrutura de erro mais apropriada para análise de dados foi estabelecida a partir da comparação dos valores do Critério de Informação de Akaike (AIC). O AIC é baseado na

verossimilhança do modelo ajustado, de modo que menor valor de AIC é considerado o modelo de melhor ajuste. (AKAIKE, 1974).

Também foi realizado o teste de agrupamento de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, para indicar os grupos homogêneos de genótipos quanto ao potencial médio.

Para análise de adaptabilidade e estabilidade via multi-informação foram consideradas as estimativas de 10 parâmetros:

1) Média geral

A média geral de cada genótipo foi a partir das várias repetições e cortes.

2) Potencial médio em diferentes condições ambientais

O potencial médio dos genótipos é expresso pela capacidade produtiva do PMS particularizando as condições ambientais como geral, favorável e desfavorável. Para o ambiente favorável foi considerado os cortes em condições edáficas e climáticas apropriadas à aptidão da cultura, sendo esse compreendido pelos períodos das águas compreendendo os meses de outubro a março (FERREIRA et al., 1999) e irrigados. Ambiente desfavorável corresponde aos cortes realizados no período da seca e aqueles sob déficit hídrico. Já o ambiente geral corresponde tanto a ambientes favoráveis quanto aos desfavoráveis.

3) Plasticidade

Refere-se a habilidade do genótipo em alterar a sua fisiologia ou morfologia de acordo com as condições do ambiente. Dessa forma, é esperado que o genótipo expresse diferentes fenótipos ao ser exposto a diferentes condições ambientais.

A partir do método tradicional (CRUZ et al., 2012) podemos obter a estimativa da plasticidade de cada genótipo quantificada a partir da análise conjunta dos experimentos. Posteriormente, realiza-se o desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de cortes e da interação G x C, em efeito de corte dentro de cada genótipo. Esta medida de variabilidade pode

ser utilizada como indicativo da plasticidade, de forma que o genótipo que proporcionar menor quadrado médio dos genótipos dentro de corte (QMC/G_i , para $i=1,2,\dots,77$), será considerado o de menor plasticidade, ou seja, mínima variância entre os cortes. Desta forma, o estimador do parâmetro de estabilidade é descrito pelas equações:

$$SQC/G = SQC + SQGC \text{ e } QMC/G_i = [SQC/G_i]/(c-1),$$

em que, SQC/G : soma de quadrado de corte dentro de genótipo; SQC : soma de quadrado de corte; $SQGC$: soma de quadrado da interação genótipo x corte; QMC/G_i : quadrado médio de corte dentro do i -ésimo genótipo; SQC/G_i : soma de quadrado do corte dentro do genótipo i ; c : corte.

4) Medida da contribuição relativa para a interação

Trata-se de uma medida que quantifica a contribuição de um determinado genótipo para a interação genótipo x corte. É possível detalhar esta contribuição para o total da soma de quadrado da interação, tal como proposto por Wricke (1965), ou para o total do componente puro da interação denotado $\hat{\sigma}_{gc}^2$, tal como proposto por Plaisted Peterson (1959).

O estimador do parâmetro que descreve a contribuição relativa do genótipo (θ_i) de Plaisted e Peterson (1959) é a média aritmética dos componentes de variância da interação entre pares de genótipos x corte ($\sigma_{gc_{ii'}}^2$) que envolver um determinado genótipo, ou seja:

$$\theta_i = \sum_{i'} \hat{\sigma}_{gc_{ii'}}^2 / (g-1) \quad \text{em que } i \neq i'$$

em que: $\hat{\sigma}_{gc_{ii'}}^2$ é o componente da interação GxC, estimado pela ANOVA, a partir da análise conjunta de todos os cortes, para um par de genótipos. O genótipo com menor θ_i é considerado o que menos contribui para interação. Para Wricke (1965), o parâmetro que expressa a contribuição do genótipo para a interação, denominado ecovalência, é estimado por uma partição da soma de quadrados da interação genótipos x cortes (SQGC), conforme se vê a seguir:

$$SQGC = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_i$$

em que, $\omega_i = r \sum_j \widehat{GC}_{ij}^2$ (para $i=1, 2, \dots, 77$) e $\widehat{GC}_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}$

Também neste caso, os genótipos associados aos menores valores de ω_i são aqueles que menos contribuem para interação e, portanto, mantêm um comportamento próximo daquele representativo do genótipo de comportamento médio.

5) *Índice de recomendação Annicchiarico*

Neste índice agregamos no conceito de genótipo de bom desempenho, o de maior potencial produtivo em termos de média e menor variabilidade ambiental. A estimativa do índice de recomendação está baseada na metodologia de Annicchiarico (1992). A média de genótipo em cada corte, inicialmente, foi obtida como valores percentuais da média de corte. Em seguida, calculados a média ($\bar{Y}_{i..}$) e o desvio-padrão ($\hat{\sigma}_i$) das porcentagens para cada genótipo. Finalmente, o índice de recomendação (ou índice de confiança, I_i) foi obtido por meio do seguinte estimador:

$$I_i = \bar{Y}_{i..} - z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_i)$$

sendo: $z_{(1-\alpha)}$ o valor na distribuição normal standardizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor $(1 - \alpha)$ com nível de significância α pré-fixado pelo autor em 0,25. Maiores valores de I_i estão relacionados a genótipos mais estáveis.

6) *Adaptabilidade percentual ou capacidade de resposta do genótipo i*

É uma medida da capacidade do genótipo em responder às melhorias no ambiente. A estimativa de adaptabilidade é obtida por coeficientes de regressão (β_{1i}) que é a resposta linear do genótipo i à variação ambiental, obtidos a partir do seguinte modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963) ou Eberhat e Russell (1966) dado por:

$$y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

em que:

y_{ij} : média da característica no corte j apresentada pelo genótipo i ;

β_{0i} : média geral do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, 77$);

β_{1i} : resposta linear do genótipo i à variação ambiental;

I_j : índice ambiental (corte) ($j = 1, 2, \dots, 24$),

em que,

$$I_j = \frac{Y_{.j}}{g} - \frac{Y_{..}}{gc};$$

δ_{ij} : desvio da regressão; e

$\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio.

A hipótese $H_0: \beta_{1i} = 1$ versus $H_a: \beta_{1i} \neq 1$ é testada pela estatística $t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\beta_{1i})}}$
 em que $\hat{V}(\beta_{1i}) = \frac{1}{\sum_j l_j^2} \hat{\sigma}_{\varepsilon}^2$ e $\hat{\sigma}_{\varepsilon}^2 = \frac{1}{r} \hat{\sigma}^2 = \frac{QMR_{es}}{r}$.

7) Estabilidade percentual ou previsibilidade

É uma medida da previsibilidade de comportamento do genótipo i em resposta às variações ambientais, considerando um modelo de regressão linear, conforme descrito por Eberhat e Russell (1966). O parâmetro de estabilidade, dado pelo componente de variância atribuído aos desvios da regressão (σ_{di}^2), é estimado, pelo método da análise de variância, a partir do quadrado médio do desvio da regressão de cada genótipo (QMD_i) e do quadrado médio do resíduo, isto é:

$$\hat{\sigma}_{di}^2 = \sum_j \hat{\delta}_{ij}^2 \setminus (c - 2) = \frac{QMD_i - QMR}{r}$$

em que: $QMD_i = \frac{r}{c-2} (\sum_j y_{ij}^2 - \frac{y_i^2}{c} - \frac{(\sum_j y_{ij} l_j)^2}{\sum_j l_j^2})$.

A hipótese $H_0: \sigma_{di}^2 = 0$ é testada pela estatística $F = QMD_i/QMR$.

Uma forma alternativa de medir a previsibilidade é por meio do coeficiente de determinação do modelo (R^2) que mede a proporção da variação total explicada pelo comportamento linear do genótipo, sendo seu valor dado em percentual. Vale destacar que esta foi a medida de previsibilidade considerada dada a sua utilidade em auxiliar na comparação entre genótipos de baixa previsibilidade (ou estabilidade). Também se considerou a significância de σ_{di}^2 juntamente com o R^2 .

8) Padrão J de resposta do genótipo

Expressa a capacidade do genótipo em manter sua boa produtividade em condições desfavoráveis e também de ser responsivo em condições favoráveis. Para detectar esta habilidade, os modelos de Finlay e Wilkinson (1963) ou Eberhat e Russell (1966) seriam ineficientes por contemplar apenas um coeficiente de regressão. Entretanto, é possível

quantificar esta característica do genótipo a partir de modelos de regressão bi-segmentadas tal como preconizado por Cruz, Torres e Vencovsky (1989). Desta forma, é possível quantificar os três parâmetros que caracterizam o padrão J: 1) Adaptabilidade referentes à resposta linear aos ambientes desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i}$), 2) Adaptabilidade referentes à resposta linear aos ambientes favoráveis ($\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$) e 3) Estabilidade (previsibilidade) que é avaliada pelo desvio da regressão $\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$ de cada genótipo, em função das variações ambientais.

O seguinte modelo estatístico foi utilizado:

$$y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}.$$

em que:

I_j : índice de ambiente codificado;

$$T(I_j) = 0 \text{ se } I_j < 0;$$

e

$$T(I_j) = I_j - \bar{I}_+ \text{ se } I_j > 0,$$

Sendo,

\bar{I}_+ a média dos índices

e

I_j positivos.

A interpretação dos parâmetros de adaptabilidade (à ambientes favoráveis ou desfavoráveis) e de estabilidade bem como sua significância, foi feita de forma análoga à adaptabilidade percentual e estabilidade percentual.

9) *Padrão de campeão*

Neste parâmetro consideramos que o atributo genotípico parte da concepção que o bom genótipo é aquele, mesmo que hipotético, seja o superior aos demais em todos cortes. Na maioria das vezes este genótipo não existe ou não está presente na experimentação, porém é possível quantificar a distância dos genótipos avaliados em relação a este hipotético, denominado de campeão. Diante dessa premissa, a estimativa desse parâmetro foi obtido a partir do Pi da metodologia de Linn e Binns (1988) considerando: todos os cortes ou para

aqueles considerados favoráveis ou desfavoráveis. Assim, em ambientes favoráveis, com índices positivos ou nulo, o parâmetro (P_{if}) foi estimado por:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (y_{ij} - M_j)^2}{2f}$$

em que:

f é o número de ambientes favoráveis;

y_{ij} é a produtividade do i -ésimo genótipos no j -ésimo corte;

M_j é a resposta máxima observada entre todos os genótipos no corte j .

Da mesma forma, em ambientes desfavoráveis, cujos índices são negativos, obtemos:

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (y_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

em que d é o número de ambientes desfavoráveis.

10) Índice de recomendação centróide

Possibilita caracterizar cada genótipo pela proximidade daqueles considerados padrões. Este parâmetro inclui além dos preconizados por Linn e Binns (1988), outros de interesse.

Assim utilizamos o método do centroide proposto por Rocha et al. (2005), que é caracterizado pela comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos e quatro referenciais pré-estabelecidas, os chamados ideótipos. Os ideótipos foram obtidos com base nos dados experimentais cujos valores médios, em cada ambiente, são dados por:

I_1 , ideótipo 1 (máxima produtividade geral);

I_2 , ideótipo 2 (máxima produtividade específica a ambientes favoráveis);

I_3 , ideótipo 3 (máxima produtividade específica a ambientes desfavoráveis); e

I_4 , ideótipo 4 (mínima produtividade).

Para utilização do método do centroide, os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis por meio do índice ambiental proposto por Finlay & Wilkinson

(1963). Após a classificação dos ambientes e criação dos pontos referenciais representativos dos ideótipos (centroides), calculou-se os valores de distância euclidiana entre os genótipos e cada um dos quatro centroides que possibilitaram a sua classificação por meio de um índice de recomendação ou de classificação.

Também utilizamos uma extensão de Rocha et al. (2005) proposta por Nascimento et al. (2009) que consistiu na inclusão de três outros centroides:

I₅, ideótipo 5 (média produtividade geral);

I₆, ideótipo 6 (média produtividade específica a ambientes favoráveis);

I₇, ideótipo 7 (média produtividade específica a ambientes desfavoráveis).

Assim obtivemos as seguintes classes de recomendação:

Classe I: Adaptabilidade geral alta (máxima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

Classe II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (máxima produção em ambientes favoráveis e mínima em desfavoráveis);

Classe III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (mínima produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis);

Classe IV: Pouco adaptado (mínima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

Classe V: Média adaptabilidade geral (média produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

Classe VI: Média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (máxima produção em ambientes favoráveis e média em desfavoráveis);

Classe VII: Média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (média produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis).

É importante ressaltar que cada um dos parâmetros descritos anteriormente, foram sintetizados em uma única tabela, chamada de ficha de recomendação, possibilitando uma análise multi-informação. Dessa forma, acreditamos que ao levarmos em consideração

diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade conjuntamente iremos auxiliar o melhorista na tomada de decisão em selecionar os melhores genótipos.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software GENES em integração com R (CRUZ 2013, 2016). Destacamos que também que foi implementado neste software a análise multi-informação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de variância conjunta (Tabela 2), considerando a estrutura da matriz de variâncias-covariâncias simetria composta heterogênea (CSH) que apresentou menor AIC, foi observada significância ($P < 0,01$) para o efeito de genótipos, corte e de interação genótipos por corte (GxC). A interação significativa GxC do modelo CSH concordam com o que é descrito na literatura para cultura da alfafa (Oliveira et al, 1993; Pereira et al, 1998; Ferreira et al, 1999; Botrel et al, 2000; Souza-Sobrinho et al, 2004).

Tabela 2: Resumo da análise de variância conjunta para a característica produção de matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 77 genótipos de alfafa para os 24 cortes, considerando a estrutura da matriz de variâncias-covariâncias simetria composta heterogênea (CSH).

Fonte de Variação	GL	Fcal	p-valor
Bloco	2	8,48	
Genótipo (G)	76	11.11	0.0 ***
Corte (C)	23	418.20	0.0 ***
Interação G x C	1748	2.09	0.0 ***
Resíduo	3694		
Média	1881		
CV(%)	20,8		

***: Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste F. CV(%): Coeficiente de Variação.

A interação GxC significativa indica que o comportamento relativo dos genótipos não foi o mesmo em todos os cortes, ou seja, os genótipos mais produtivos num dado corte podem não ter apresentado desempenho superior numa outra época (Ferreira et al., 2004). Genótipos identificados com uma ampla adaptabilidade e alta estabilidade de produção de matéria seca durante os cortes ao longo do ano é de grande interesse do melhorista. Dessa forma, ao lançarmos uma cultivar dessas no mercado, estaremos auxiliando o produtor a utilizar uma menor quantidade de suplementação volumosa de outra fonte (silagem, feno, dentre outras) para manter a produção de leite por animal. Assim, nos sistemas intensivos de produção de leite estaremos contribuindo para evitar uma elevação do custo de produção na propriedade.

Observamos que o comportamento dos genótipos foi influenciado pelas condições ambientais, que neste caso é o corte, justificando a utilização de metodologias que possam classificar os genótipos de acordo com sua adaptabilidade e estabilidade. O coeficiente de variação estimado foi de 20,80%, o que está de acordo com os que são descritos na literatura para cultura da alfafa (FREITAS et al., 2008).

Em relação aos 24 cortes (Tabela 3) constata-se que o período inicial do desenvolvimento dos genótipos caracterizou-se pela manifestação de menores médias classificando estes cortes como ambientes predominantemente desfavoráveis. Ao contrário, o período final demonstrou o maior potencial dos cultivares, com médias mais elevadas, levando a caracterizar os ambientes como predominantemente favoráveis.

Tabela 3. Média, coeficiente de variação (CV), herdabilidade (h^2) e índice ambiental de cada corte de alfafa.

Corte	Mês Corte	Irrigação	Média	CV (%)	h^2	Índice ambiental
1	Novembro/2015	Ok	2287	24.4	17,27	Favorável
2	Dezembro/2015	Ok	2207	18.7	23,92	Favorável
3	Janeiro/2016	Ok	1785	20.8	26,50	Desfavorável
4	Fevereiro/2016	Ok	1631	21.1	51,52	Desfavorável
5	Março/2016	Ok	1441	18.1	69,42	Desfavorável
6	Abril/2016	Ok	1821	18.7	59,83	Desfavorável
7	Mai/2016	Ok	1841	18.5	53,34	Desfavorável
8	Junho/2016	X	917	32.3	30,03	Desfavorável
9	Julho/2016	X	1156	20.9	84,59	Desfavorável
10	Agosto/2016	X	1362	18.9	87,55	Desfavorável
11	Setembro/2016	Ok	1824	22.0	44,55	Desfavorável
12	Outubro/2016	Ok	2422	15.4	24,66	Favorável
13	Novembro/2016	Ok	2407	17.3	65,32	Favorável
14	Dezembro/2016	Ok	1424	21.7	61,03	Desfavorável
15	Janeiro/2017	Ok	2104	18.8	51,34	Favorável
16	Fevereiro/2017	Ok	2073	20.3	64,69	Favorável
17	Março/2017	Ok	1422	21.0	76,98	Desfavorável
18	Abril/2017	Ok	1881	15.0	89,74	Favorável
19	Junho/2017	X	2069	16.2	-20,16	Favorável
20	Julho/2017	X	1095	36.6	71,97	Desfavorável
21	Agosto/2017	X	2349	24.5	74,72	Favorável

22	Setembro/2017	Ok	2415	24.8	68,91	Favorável
23	Outubro/2017	Ok	2561	14.7	77,27	Favorável
24	Novembro/2017	Ok	2636	18.0	75,58	Favorável

A estimativa da herdabilidade caracteriza a eficiência do valor genotípico como preditor do valor fenotípico (Cruz, 2005) e a maior facilidade em discriminar os genótipos. Pode ser verificado na Tabela 3 que, além da média aumentar nos últimos cortes, a variabilidade também foi maior de forma que, de maneira geral, a herdabilidade atingiu patamares consistentemente acima de 60% neste período. Neste sentido vale destacar o corte 19 para o qual os genótipos manifestaram alto potencial (ambiente favorável) e herdabilidade negativa. Este comportamento indica que a variância ambiental foi superestimada dificultando a discriminação entre os genótipos de bom potencial. Na Tabela 3, também é possível concluir que herdabilidades altas (acima de 80%) podem se manifestar tanto em condições ambientais caracterizadas como favorável como desfavorável, e que a prática da seleção não pode ser estabelecida a partir deste critério.

Em relação aos 77 genótipos avaliados (Tabela 4), ignorando o fato da interação G x C ter sido significativa, constata-se a existência de genótipos em que a média (ou o total) matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi consideravelmente mais elevada. Neste estudo vamos considerar que o pesquisador tem interesse de selecionar 8% dos genótipos que possuem grande potencial de recomendação com base no teste de agrupamento de médias Scott Knott, ou seja, os genótipos selecionados seriam os 21, 40, 61, 64, 66 e o 77. Outros critérios como manter as informações de todos os cultivares ou excluir alguns deles da análise poderão ser adotados pelo pesquisador.

Tabela 4: Média de produção de matéria seca (kg.ha⁻¹) dos genótipos (G) de alfafa avaliado em 24 cortes.

G	Média	G	Média	G	Média	G	Média
21	2275 a	38	2032 a	54	1911 a	49	1715 b
61	2229 a	34	2031 a	24	1907 a	63	1706 b
77	2218 a	62	2028 a	19	1906 a	47	1675 b
64	2210 a	76	2024 a	59	1899 a	58	1665 b
66	2190 a	8	2024 a	31	1878 a	68	1631 b
40	2186 a	26	2006 a	11	1873 a	18	1610 b
75	2178 a	41	1997 a	65	1871 a	1	1594 b
2	2118 a	25	1997 a	48	1861 a	32	1592 b
56	2117 a	29	1995 a	36	1854 a	53	1572 b
14	2117 a	3	1991 a	46	1853 a	50	1540 b
22	2111 a	4	1989 a	28	1845 a	69	1500 b
67	2107 a	6	1987 a	44	1844 a	70	1465 b
72	2100 a	30	1978 a	52	1841 a	7	1449 b
57	2083 a	45	1976 a	17	1825 a	55	1286 c
37	2072 a	20	1971 a	33	1811 a	15	1285 c
60	2062 a	5	1958 a	27	1800 a	35	1272 c
16	2051 a	13	1956 a	71	1798 a	23	1171 c
42	2048 a	10	1941 a	43	1780 a		
39	2047 a	9	1934 a	51	1737 b		
74	2037 a	12	1922 a	73	1718 b		

Médias seguidas da mesma letra na coluna indicam a grupos homogêneos, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Nas Tabelas 5 e 6, foi ilustrada a estratégia de análise da técnica multi-informação. Inicialmente foram consideradas as informações individuais do genótipo 77 (cultivar Crioula) (Tabela 5) para facilitar o entendimento da nossa proposta de utilizar a técnica multi-informação. Essa cultivar foi escolhida por ser a principal alfafa cultivada no País, além de ser do tipo-feno em virtude do seu hábito ereto e tolerância limitada à desfolhação severa (FAVERO et al., 2008).

Observe na tabela 5 que para cada parâmetro temos, na ficha de multi-informação, as estimativas de referência mínimo (Mín) e máximo (Max). Para se ter ideia do posicionamento do genótipo 77 (cultivar Crioula) particularizado devemos compara-lo com as estimativas de referência. Vale destacar que no caso do parâmetro Potencial Médio é apresentado também o valor de referência para média de PMS para fins de comparações quantitativas.

Para facilitar a interpretação da técnica multi-informação considere um posicionamento qualitativo que pode ser obtido por meio do Rank (Tabela 5). Um Rank com valor 1 representa o melhor cenário para todos os critérios. Assim, se a estatística for a média, o Rank 1 indica que o genótipo atingiu a maior média. Mas, se o parâmetro observado for a Padrão Campeão dado pelo valor de Pi (Linn e Binns (1988)) o rank 1 indicará que o genótipo apresenta menor valor e, portanto, mais próximo do genótipo hipotético de maior desempenho em todos os cortes. Outra particularidade refere-se ao parâmetro Estabilidade (%) cujo valor apresentado na tabela corresponde ao coeficiente de determinação seguido da significância associada a hipótese de que o desvio do modelo da regressão é nulo.

De acordo com o Índice de Recomendação Annicchiarico à Ambiente Favorável e Padrão Campeão à Ambiente desfavorável, a cultivar Crioula obteve Rank 1, o que a classifica em primeiro lugar em relação ao demais genótipos para estes parâmetros (Tabela 5). Essa cultivar foi a segunda colocada (Rank 2) para os parâmetros Potencial Médio à Ambiente desfavorável, Contribuição da Interação e para o Índice de Recomendação Annicchiarico a Ambiente geral. Já o Padrão J de Resposta para adaptabilidade e estabilidade foram não significativos, o que indica que a cultivar Crioula se destaca como aquela cujo comportamento médio é de maior previsibilidade. Baseado no Índice de Recomendação Centroides das metodologias de quatro e sete centroides, este genótipo foi classificado como em adaptabilidade geral e média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, respectivamente.

Tabela 5. Ficha de recomendação genotípica fundamentada em análise multi-informação do genótipo 77 (Crioula) em relação à característica produção de matéria seca (kg.ha⁻¹) em alfafa.

Parâmetro	Genótipo 77		Referência			
	Valor	Rank	Min	Max	Média	
Potencial médio	Ambiente Geral	2218	3	1171	2275	1881
	Ambiente Favorável	2597	10	1452	2717	2285
	Ambiente Desfavorável	1839	2	889	1840	1477
Plasticidade QMG/C		817663	14	529982	1626487	-
Contribuição da interação	S ² GxC (%)	0.63	2	0.60	3.09	-
	SQGxA (%)	0.61	2	0.57	3.16	-
Índice de Recomendação Annicchiarico	Ambiente Geral (%)	103	2	35.12	105.23	-
	Ambiente Favorável (%)	99.93	4	36.71	106.05	-
	Ambiente Desfavorável (%)	109.09	1	30.46	109.09	-
Adaptabilidade (%)		0.97 ^{ns}	-	109.09	1.32	-
Estabilidade (%)		83.86 ^{ns}	-	47.44	90.95	-
Padrão J de resposta	Adaptabilidade β_1	0.97 ^{ns}	-	0.70	1.33	-
	Adaptabilidade $\beta_1 + \beta_2$	1.04 ^{ns}	-	-0.26	2.51	-
	Estabilidade (%)	83.91 ^{ns}	-	49.88	91.06	-
Padrão campeão	Ambiente Geral	193061.51	4	157770	1393667	-
	Ambiente Favorável	319657	7	219945	1924476	-
	Ambiente Desfavorável	66466	1	66466	863406	-
Índice de Recomendação Centróide	4 Centróides	I: Adaptabilidade geral alta				
	7 Centróides	VII: Média adaptabilidade específica ambientes desfavoráveis				

Para facilitar a comparação dos demais genótipos selecionados os representamos em uma única tabela de análise multi-informação (Tabela 6). Observe que por meio do Rank o genótipo 21 se destacou para os parâmetros Potencial Médio para ambiente geral e favorável. Entretanto, para esse parâmetro para o ambiente desfavorável o genótipo 61 ficou em primeira posição. Mas, observe que o genótipo 21 mesmo não estando classificado em primeira posição está muito bem ranqueado com terceira posição.

Vale destacar que se tivéssemos que selecionar entre os genótipos 21 e 61 para o parâmetro Padrão J de Resposta, tomaríamos a decisão de não selecionar o genótipo 61, pois este apresentou desvio da regressão estatisticamente diferente a zero e o seu grau de imprevisibilidade deve comprometer a indicação da cultivar, uma vez que o seu R^2 está abaixo de 80% (Cruz et al., 2012).

Observe que para o parâmetro Índice de Recomendação Annicchiarico o melhor ranqueamento também foi para o genótipo 21. Já que ele foi contemplado com a primeira posição para ambiente geral e desfavorável e segunda posição para ambiente desfavorável em relação aos demais genótipos selecionados (Tabela 6).

Baseado no Índice de Recomendação Centroide para quatro centroides todos os genótipos selecionados foram classificados como de adaptabilidade geral alta. Já para com sete centroides observamos média adaptabilidade geral para os genótipos 21, 40, 64 e 66 e apenas para o genótipo 61 foi observado média adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Tabela 6).

Tabela 6. Ficha de recomendação genotípica fundamentada em análise multi-informação de genótipos com desempenho médio superior em relação à característica produção de matéria seca (kg.ha⁻¹) dos genótipos de alfafa avaliado em 24 cortes.

Parâmetro		Genótipo 21		Genótipo 40		Genótipo 61		Genótipo 64		Genótipo 66		Referência		
		Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Min	Max	Média
Potencial médio	Ambiente geral	2275	1	2186	6	2229	2	2210	4	2189	5	1171	2275	1881
	Ambiente favorável	2717	1	2578	13	2618	6	2633	5	2679	3	1452	2717	2285
	Ambiente desfavorável	1832	3	1795	4	1840	1	1787	5	1700	8	889	1840	1477
Plasticidade QMC/G		1012030	45	1167294	60	958930	35	1185353	63	1220820	66	529982	1626487	-
Contribuição da interação	S ² GxC (%)	0.70	6	1.85	64	1.11	39	1.85	65	1.41	53	0.60	3.09	-
	SQGxA (%)	0.68	6	1.86	64	1.10	39	1.87	65	1.42	53	0.57	3.16	-
Índice de Recomendação Annicchiarico	Ambiente geral (%)	105.23	1	92.19	12	96.6	3	92.64	9	93.39	5	35.12	105.23	-
	Ambiente favorável (%)	106.05	1	87.3	29	98.19	5	92.94	12	94.14	11	36.71	106.05	-
	Ambiente desfavorável (%)	105.86	2	97.97	6	97.35	8	92.09	13	91.63	14	30.46	109.09	-
Adaptabilidade (%)		1.10 ^{ns}	-	1.03 ^{ns}	-	1.0 ^{ns}	-	1.04 ^{ns}	-	1.13 ^{ns}	-	0.71	1.32	-
Estabilidade (%)		85.96 ^{ns}	-	65.31 ^{**}	-	74.96 [*]	-	65.58 ^{**}	-	75.66 ^{**}	-	47.44	90.95	-
Padrão J de resposta	Adaptabilidade β_1	1.04 ^{ns}	-	0.95 ^{ns}	-	0.99 ^{ns}	-	1.05 ^{ns}	-	1.12 ^{ns}	-	0.70	1.33	-
	Adaptabilidade $\beta_1 + \beta_2$	1.62 [*]	-	1.70 [*]	-	1.09 ^{ns}	-	0.89 ^{ns}	-	1.20 ^{ns}	-	-0.26	2.51	-
	Estabilidade (%)	88.12 ^{ns}	-	68.38 ^{**}	-	72.02 ^{**}	-	65.63 ^{**}	-	75.70 ^{**}	-	49.88	91.06	-
Padrão campeão	Ambiente geral	157770	1	248149	7	174950	2	221845	6	186659	3	157770	1393667	-
	Ambiente favorável	219945.44	1	398594.1	16	254335.22	3	331342.41	12	236993.63	2	219945	1924476	-
	Ambiente desfavorável	95594.81	3	97704.852	4	95564.486	2	112347.15	5	136324.78	8	66466	863406	-
Índice de Recomendação Centróide	4 Centróides		I		I		I		I		I			
	7 Centróides		V		V		VII		V		V			

I: Adaptabilidade geral alta (máxima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (máxima produção em ambientes favoráveis e mínima em desfavoráveis);

III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (mínima produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis);

IV: Pouco adaptado (mínima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

V: Média adaptabilidade geral (médica produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

VI: Média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (máxima produção em ambientes favoráveis e média em desfavoráveis);

VII: Média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (médica produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis).

Para justificar a seleção do genótipo 21 podemos levar em consideração o parâmetro Contribuição da Interação já que ela é estimada pela contribuição relativa de cada genótipo para interação GxC e identificam-se aqueles de maior estabilidade. Neste aspecto, comparando o genótipo 21 com o genótipo 61 podemos concluir que o genótipo 61 é o que proporciona maior contribuição para a interação, além de produzir 2% a menos de PMS em média. Sua contribuição para interação é o reflexo de sua invariância, ou seja, o genótipo não responde à melhoria do ambiente, mas é afetado pelas condições ambientais adversas. Este fato, fez com que o genótipo 61 fosse ranqueado na 39ª posição para este parâmetro. Dessa forma, o genótipo 61 não deve ser selecionado caso o melhorista tenha que optar por apenas um genótipo com base na PMS.

Diante dos resultados apresentados destacamos a grande contribuição de se utilizar a ficha de recomendação por meio da análise multi-informação para recomendação de cultivares de alfafa. Por meio desta ficha foi possível considerar várias metodologias sejam elas fundamentadas na existência da interação GxC ou distingui-las dos conceitos de adaptabilidade e estabilidade adotando diferentes abordagens. Também foi possível considerar que alguns métodos são alternativos, enquanto outros são complementares, podendo ser utilizados conjuntamente na tomada de decisão pelo melhorista. Dessa forma, foi possível identificar o genótipo 21 como promissor por apresentar superioridade relativa de PMS, de comportamento previsível e responsivo às variações ambientais, em diferentes cortes.

O assunto referente à recomendação de cultivares, por meio de informações de avaliações em vários cortes, tem sido de interesse durante muitas décadas e, atualmente, ainda se verifica proposições de novas metodologias para auxiliar os melhoristas nesta atividade. Um olhar crítico permite observar que grande contribuição foi dada nos conceitos que foram formulados, referentes a potencial de produção, superioridade relativa, ecovalência, invariância, previsibilidade, plasticidade e capacidade de resposta. Outras contribuições, referem-se à diferentes modelagens estatísticas capazes de captar estes conceitos de forma concisa para serem usados pelos melhoristas.

O presente trabalho partiu de pressuposto que não seja necessário colocar em um único modelo estatístico todos os conceitos importantes para julgamento da superioridade genotípica e sua recomendação. Entretanto, estes conceitos deveriam estar facilmente disponíveis de forma permitir uma análise de multi-informação para tomada de decisão rápida e eficaz. Recomenda-se gerar informações e compilar os conceitos já estabelecidos e disponíveis, mesmo que separados, num conjunto de metodologias já propostas. Assim, contribuímos com uma

estratégia de análise, já disponível em software, que acreditamos ser útil pela sua facilidade de uso e quantidade de informação gerada.

CONCLUSÃO

A ficha de recomendação por meio da análise multi-informação proposta neste trabalho auxilia o melhorista na tomada de decisão na seleção de genótipos superiores de alfafa.

A análise multi-informação possibilitou identificar o genótipo 21 como o mais promissor por apresentar superioridade relativa de PMS, de comportamento previsível e responsivo às variações ambientais, em diferentes cortes.

Esta ficha de recomendação baseada na análise multi-informação pode ser utilizada pelos programas de melhoramento genéticos de culturas agrícolas.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716 –723, 1974.

Akter A, Hasan MJ, Kulsum UM, Lipi LF, Begum H, Rahman NMF, Farhat T, Baki MDZI. (2019). Stability and adaptability of promising hybrid rice genotypes in different locations of Bangladesh. *Adv Plants Agric Res*. 9(1):35–39.

Annicchiarico P. (1992). Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics and Breeding*, 46(1):269-278.

Barros HB, Sedyama T, Texeira RC, Fidelis RR, Cruz CD, Reis MS. (2010). Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados no estado do Mato Grosso. *Revista Ceres*. 57:359-366.

Barrosso LMA, Nascimento M, Nascimento ACC, Silva FF, Cruz CD, Bhering LL, Ferreira RP.(2015). Metodologia para análise de adaptabilidade e estabilidade por meio de regressão quantílica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50: 290–297. doi: 10.1590/S0100-204X2015000400004.

Batista RO, Hamawaki RL, Souza LB, Nogueira APO and Hamawaki OT. (2015). Adaptability and stability of soybean genotypes in off-season cultivation. *Genetics and Molecular Research* 14 (3): 9633-9645. doi: <http://dx.doi.org/10.4238/2015>.

Bujak H, Nowosad K, Warzecha R. (2014). Evaluation of maize hybrids stability using parametric and non-parametric methods. *Maydica*, 59:170-175.

Cargnelutti Filho A, Perecin D, Malheiros EB, Guadagnin JP. (2007). Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. *Bragantia*, Campinas. 66(4): 571-578.

Carneiro ART, Sanglard DA, Azevedo AM, Souza TLPO, Pereira HS, Melo LC. (2019). Fuzzy logic in automation for interpretation of adaptability and stability in plant breeding studies. *Scientia Agricola*, 76:123-129. doi: 10.1590/1678-992x-2017-0207.

Carneiro VQ, Prado A L, Cruz C D, Carneiro PCS, Nascimento M, Carneiro JES. (2018). Fuzzy control systems for decision-making in cultivars recommendation. *Acta Scientiarum. Agronomy* 40: 1-8.

Chaves LJ. (2001). Interação de genótipos com ambientes. In: Nass LL, Valois ACC, Melo IS, Valadares-Inglis MC. (Ed.). *Recursos Genéticos & Melhoramento de Plantas*. Rondonópolis: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. 673-713.

Couto MF, Nascimento M, Amaral A T, Silva FF, Viana AP and Vivas M. (2015). Eberhart and Russel's Bayesian Method in the Selection of Popcorn Cultivars. *Crop Science*, 55:571.

CRUZ, C. D.; TORRES, RA de; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS. (2012). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*: v. 1, 4 ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 514p.

Cruz, C.D. (2013). *Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics*. *Acta Scientiarum. Agronomy* 35 (3): 271-276.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS. (2014). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*: v. 2, 3ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 668p.

- Cruz CD. (2016). Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum*. 38(4): 547-552.
- Eberhart AS and Russell WA. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6(1):36-40.
- Eeuwijk FAV, Bustos-Korts DV and Malosetti M. (2016). What Should Students in Plant Breeding Know About the Statistical Aspects of Genotype Environment Interactions. *Crop Sci*. 56:2119–2140. doi: 10.2135/cropsci2015.06.0375.
- Faria SV, Luz LS, Rodrigues MC, Carneiro JS, Carneiro PCS, DeLima RO. (2017). Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*. 48(2):347-357. <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170040>.
- FAVERO, D.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; DALL'AGNOL, M.; SECO, D. Desempenho de populações de alfafa sob desfolhação. *Revista brasileira de zootecnia*, v. 37, n. 4, p. 589-595, 2008.
- Ferreira, R. P.; Vilela, D. Potencial de utilização da alfafa. In: Ferreira RP, Vilela D, Comeron EA, Bernardi ACC, Karam D (Ed.). *Cultivo e utilização da alfafa em pastejo para alimentação de vacas leiteiras*. Brasília: Embrapa, 2015. p.13-16.
- Ferreira, RP et al. Avaliação de cultivares de alfafa e estimativas de repetibilidade de caracteres forrageiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.6, p.995-1002, 1999.
- Fikere M, Bing DJ, Tadesse T and Ayana A. (2014). Comparison of biometrical methods to describe yield stability in field pea (*Pisum sativum* L.) under South eastern Ethiopian conditions. *Academic Journals*. 9(33): 2574-2583. doi: 10.5897/AJAR09.602.
- Finlay KW and Wilkinson GN. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*. 14(3):742- 754.
- Freitas, A. R. D., Barioni Júnior, W., Ferreira, R. D. P., Cruz, C. D., Moreira, A., & Vilela, D. (2008). Técnicas de análises exploratórias em dados de cultivares de alfafa. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(9), 1531-1536.

Freitas F.J. M., Peluzio J.M, Afferi F.S., Carvalho E.V., Santos W.F. (2015). Correlação entre parâmetros de quatro metodologias de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de soja em ambientes distintos. *Revista de la Facultad de Agronomía*.114: 143-147.

Huehn M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*. 47(3): 189-194.

Lin CS and Binns MR. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*. 68(3):193-198.

Maia MCC, Vello NA, Araujo LB, Dias CTS, Oliveira LC, Rocha MM. (2013). Interação genótipo x ambiente com uso da análise de componentes principais para populações de soja selecionadas para resistência a insetos. *Revista Brasileira de Biometria*. 31(1):13-27, 2013.

Nascimento, M., Cruz, C. D., Campana, A. C. M., Tomaz, R. S., Salgado, C. C., & Ferreira, R. D. P. (2009). Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(3), 263-269.

Nascimento M, Ferreira A, Ferrão RG, Campana ACM, Bhering LL, Cruz CD, Ferrão MAG, Fonseca AFA. (2010). Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 41-48.

Nascimento M, Ferreira A, Nascimento ACC, Silva FF, Ferreira RP, Cruz CD. (2015). Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes. *Rev. Ceres*. 62(1): 30-36.doi: 10.1590/0034-737X201562010004.

Nascimento M, Peternelli LA, Cruz CD, Nascimento ACC, Ferreira RP, Bhering LL, Salgado CC. (2013). Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 13: 152-156.

Nascimento M, Silva FF, Sáfyadi T, Nascimento ACC, Ferreira RP, Cruz CD. (2011). Abordagem bayesiana para avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(1): 26-32. doi:10.1590/S0100-204X2011000100004.

Nunes HF, Freire Filho FR, Ribeiro VQ and Gomes RLF. (2014). Grain yield adaptability and stability of blackeyed cowpea genotypes under rainfed agriculture in Brazil. *Academic Journals*. 9(2): 255-261 doi: 10.5897/AJAR212.2204.

Oliveira RBR, Moreira RMP, Ferreira JM. (2013). Adaptability and stability of maize landrace varieties. *Semina: Ciências Agrárias*, 34:2555-2564. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n6p2555.

Oliveira TRA, Carvalho HWL, Costa EFN, Carvalho Filho JLS. (2017). Correlation among adaptability and stability assessment models in maize cultivars. *Australian Journal of Crop Science*. 11:516-521. doi: 10.21475/ajcs.17.11.05.p304.

Paula TOM, Marinho CD, Souza V, Barbosa MHP, Peternelli LA, Kimbeng CA, Zhou MM. (2014). Relationships between methods of variety adaptability and stability in sugarcane. *Genetics and Molecular Research*.13: 4216-4225. doi: 10.4238/2014.

Plaisted RL, Peterson LC. (1959). A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. *American Potato Journal*. 36(2):381-385, 1959.

Rocha RB, Muro-Abad JI, Araujo EF, Cruz CD. (2005). Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*. 15(3):255-266.

Roostaei M, Mohammadi R, Amri A. (2014). Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. *The Crop Journal*, 2:154-163. doi: 10.1016/j.cj.2014.02.002.

Silva GN, Silva Junior AC, Sant'anna IC, Cruz CD et al. (2019). Projeção de distâncias como método auxiliar na classificação de arroz irrigado quanto a adaptabilidade e estabilidade. *Rev. Bras. Biom.*37(2): 229-243. doi: 10.28951/rbb.v37i2.383.

Silva JGC and Barreto JN. (1985). Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: simpósio de estatística aplicada à experimentação agrônômica, 1985, Campinas. Anais. Campinas: Fundação Cargill. 49-50.

Tai GCC. (1971). Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Science*. 11(1): 184-190.

Teodoro PE, Barroso LMA, Nascimento M, Torres FE, Sagrilo E, Santos A e Ribeiro LP. (2015). Redes neurais artificiais para identificar genótipos de feijão caupi semiprostrado com alta adaptabilidade e estabilidade fenotípicas. *Pesq. agropec. bras.* 50(11): 1054-1060. doi: 10.1590/S0100-204X2015001100008.

Verma MM, Chahal GS, Murty BR. (1978). Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theoretical and Applied Genetics*. 53(3): 89-91.

Woyann LG, Milioli AS, Bozi AH, Dalló Samuel C, Matei G, Storck L, Benin, G. (2018). Repeatability of associations between analytical methods of adaptability, stability, and productivity in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(1), 63-73. <https://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000100007>.

Wricke G. (1965). Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. *Pflanzenzüchtung*. 52(1): 127-138.

Yates F, Cochran WG. (1938). The analysis of group of experiments. *Journal of Agricultural Science*. 28(1): 556-580.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo em parcela subdividida no tempo (contemplando dois ou três erros) e aqueles ajustados para diferentes estruturas de erros na avaliação da produção de genótipos de alfafa foram concordantes em apontar efeito significativo de cortes (C), genótipos (G) e a interação G x C.

Ao considerar diferentes estruturas para a matriz de erros, os valores de AIC foram inferiores a aqueles obtidos pelos modelos de parcela subdividida no tempo, indicando que a análise de medidas repetidas deve se preferida neste tipo de experimento.

A persistência (S%) da produção de matéria seca mostrou-se uma importante ferramenta na seleção dos genótipos 4, 21, 57, 61, 67 e 72 de alfafa considerando a estrutura de covariância simetria composta heterogênea a qual obteve o menor AIC.

Por meio do ranqueamento obtido na ficha de recomendação foi possível observar que o genótipo 21 se destacou para os parâmetros PM para ambiente geral e favorável. Entretanto, para PM no ambiente desfavorável o genótipo 61 ficou em primeira posição. Vale destacar, que mesmo o genótipo 21 não estando classificado como primeiro colocado está muito bem ranqueado com a terceira posição. E, ainda que tivéssemos que selecionar apenas um genótipo, entre o 21 e 61 para o parâmetro PJR, tomaríamos a decisão de não selecionar o genótipo 61, pois este apresentou desvio da regressão estatisticamente diferente a zero e o seu grau de imprevisibilidade deve comprometer a indicação da cultivar, uma vez que o seu R^2 está abaixo de 80%.

A ficha de recomendação por meio da análise multi-informação proposta neste trabalho possibilita o melhorista a tomada de decisão na seleção de genótipos superiores de alfafa. A análise multi-informação possibilitou identificar o genótipo 21 como o mais promissor por apresentar superioridade relativa de PMS, de comportamento previsível e responsivo às variações ambientais, em diferentes cortes.