

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**  
**Departamento de Ciências Exatas – LCE**  
**Laboratório de Análises Estatísticas – LAE**

**Análise Multivariada de Perfis de manejos de irrigação na cultura  
do arroz e da resistência de progêneres de cacau à doença da  
murcha-do-*Ceratocystis***

**Vinícius Henrique Beltran**

Monografia apresentada para obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas.

**Piracicaba**  
**2018**



**Vinícius Henrique Beltran**

**Graduando no curso de Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas  
pela ESALQ/USP**

**Análise Multivariada de Perfis de manejos de irrigação na cultura do arroz e da  
resistência de progêneres de cacau à doença da murcha-do-*Ceratocystis***

Orientador:

Prof. Dr. **CARLOS TADEU DOS SANTOS DIAS**

Monografia apresentada para obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas.

**Piracicaba**

**2018**



## **DEDICATÓRIA**

***Dedico este trabalho aos meus pais,***

***Elcio e Maria,***

***por todo o amor e incentivo.***



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por sempre me abençoar e me proteger, em todas as áreas da minha vida. Mesmo nos momentos em que demonstrei pouca fé, Ele sempre esteve ao meu lado.

Aos meus pais, por todo o amor e dedicação, impossíveis de serem agradecidos somente por palavras. Sem o apoio e incentivo deles, eu não conseguiria ter chego tão longe. Agradeço imensamente por todos os ensinamentos, todo o carinho e todos os sacrifícios feitos para que eu pudesse chegar onde estou. Sem eles, nada teria sido possível.

Ao meu amor, Jéssica, por estar sempre ao meu lado, enfrentando os mais diversos problemas, inclusive na própria graduação. Agradeço por todo o amor, carinho e confiança, principalmente nas situações mais difíceis. Neste momento, completamos mais um ciclo de nossas vidas, superando todos os desafios juntos e sempre fortalecendo um ao outro.

Aos meus irmãos, Rafael, Andrea e Andressa, por sempre estarem me apoiando e me ajudando no que eu precisar. Agradeço por todo o amor e companheirismo, além dos momentos alegres que temos juntos.

Aos meus avós, Sebastião, Maria Clara e Marina, por todo o amor e carinho. Agradeço por tornarem meus dias mais alegres, com toda a experiência de vida que só pertence aos avós.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Tadeu, por me acolher desde que ingressei na graduação e por sempre acreditar em meu potencial, mesmo nos momentos em que eu quis desistir. Agradeço por todos os ensinamentos, por todos os conselhos, pela oportunidade que me concedeu e, principalmente, pela amizade.

À Luciane, por ter me auxiliado e acompanhado em diversos momentos da graduação, principalmente no que diz respeito a orientações e conselhos sobre como lidar com as mais diversas situações. Agradeço pela amizade e por toda a atenção e paciência em me atender sempre que eu precisava de algo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de Iniciação Científica concedida (Processo 2017/07430-1), o que permitiu a realização deste trabalho.



*“A mente é o único lugar em que se pode dizer, realmente, que qualquer coisa existe. O mundo exterior é apenas conhecido por nós como ele aparece em nosso interior, pelo testemunho de nossos sentidos. A imaginação é o mundo mais real que conhecemos, porque cada um de nós a conhece por experiência própria. Ver as nossas ideias tomando forma é como ver o Sol ganhando existência.”*

*John Frusciante.*



## RESUMO

### **Análise Multivariada de Perfis de manejos de irrigação na cultura do arroz e da resistência de progênies de cacau à doença da murcha-do- *Ceratocystis***

O termo “medidas repetidas” é usado para designar medidas feitas na mesma variável ou na mesma unidade experimental em mais de uma ocasião. Esses experimentos têm como principal objetivo examinar e comparar as tendências dos tratamentos ao longo do espaço ou do tempo. A Análise Multivariada de Perfis (AMP) é uma alternativa para analisar dados mensurados no tempo, tendo como objetivo testar hipóteses sobre os perfis médios de resposta dos diversos tratamentos e compará-los entre si. No caso deste projeto, a metodologia da AMP foi utilizada para analisar dois conjuntos de dados: um proveniente de um experimento com culturas de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas a diferentes manejos de irrigação e níveis de nitrogênio; e outro proveniente de um experimento sobre a resistência e suscetibilidade de progênies de cacau (Theobroma cacao L.) à doença conhecida como “murcha-do-*Ceratocystis*”. Assim, o objetivo deste projeto foi comparar entre si os perfis médios descritos pelos tratamentos em cada um dos experimentos, para cada variável avaliada, por meio das hipóteses da AMP. Dessa forma, pôde-se observar a aplicação da metodologia da AMP para duas plantas que traduzem ciclos de culturas diferentes: o arroz, que é uma cultura anual e de ciclo curto; e o cacau, que é uma cultura perene e de ciclo longo.

**Palavras-chave:** 1. Análise Multivariada de Perfis; 2. Medidas repetidas ao longo do tempo; 3. *Oryza sativa* L.; 4. Manejos de irrigação; 5. *Theobroma cacao* L.; 6. *Ceratocystis cacaofunesta*.



## ABSTRACT

### **Multivariate Analysis of Profiles of irrigation managements in rice crop and cocoa progenies resistance to *Ceratocystis* wilt disease**

The repeated measures term is used to denote measurements made on the same variable or on the same experimental unit on more than one occasion. These experiments have as main objective to examine and to compare the tendencies of the treatments along the space or the time. The Multivariate Analysis of Profiles (MAP) is an alternative to analyze measured data in time, aiming to test hypotheses about the average response profiles of the several treatments and to compare them with each other. In this project, the methodology of the MAP was used to analyze two data sets: one from an experimental with rice crops (*Oriza sativa* L.) submitted to different irrigation management and nitrogen levels; and other from an experiment on the resistance and susceptibility of cocoa progenies (*Theobroma cacao* L.) to the disease known as “*Ceratocystis* wilt”. Thus, the objective of this project was to compare the average profiles described by the treatments in each experiment, for each evaluated variable, through the hypotheses of the MAP. Therefore, it is possible to observe the application of the MAP methodology for two plants that have different culture cycles: rice, which is an annual crop with short cycle; and cocoa, which is a perennial crop with long cycle.

**Keywords:** 1. Multivariate Analysis of Profiles; 2. Repeated measures over time; 3. *Oryza sativa* L.; 4. Irrigation managements; 5. *Theobroma cacao* L.; 6. *Ceratocystis cacaofunesta*.



## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>2. Revisão de bibliografia .....</b>	<b>16</b>
2.1 Imputação múltipla de dados.....	16
2.2 Pressuposições do modelo estatístico multivariado.....	17
2.3 Teste de esfericidade de Mauchly .....	18
2.4 Análise Multivariada de Perfis .....	19
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>24</b>
3.1 Objetivo geral .....	24
3.2 Objetivos específicos .....	24
<b>4. Material e métodos .....</b>	<b>25</b>
4.1 Delineamento experimental .....	25
4.1.1 Experimento com a cultura de arroz .....	25
4.1.2 Experimento com a cultura de cacau.....	26
4.2 Imputação múltipla de dados .....	26
4.3 Teste de esfericidade de Mauchly .....	27
4.4 Análise Multivariada de Perfis .....	27
4.5 Análise dos dados .....	28
<b>5. Resultados e discussão .....</b>	<b>29</b>
5.1 Análises referentes ao experimento com a cultura de arroz .....	29
5.1.1 Primeiro conjunto de análises .....	30
5.1.1.1 Análise Multivariada de Perfis .....	31
5.1.1.2 Contrastes construídos por meio da MANOVA .....	34
5.1.2 Segundo conjunto de análises .....	35
5.1.2.1 Análise Multivariada de Perfis .....	35
5.1.2.2 Contrastes construídos por meio da MANOVA .....	40
5.1.3 Terceiro conjunto de análises .....	42

5.1.3.1 Safra 2014/2015 .....	43
5.1.3.1.1 Análise Multivariada de Perfis .....	43
5.1.3.1.2 Contrastes construídos por meio da MANOVA .....	45
5.1.3.2 Safra 2015/2016 .....	50
5.1.3.2.1 Análise Multivariada de Perfis .....	50
5.1.3.2.2 Contrastes construídos por meio da MANOVA .....	52
5.1.4 Interpretação dos resultados obtidos e conclusões .....	57
5.2 Análises referentes ao experimento com a cultura de cacau .....	59
5.2.1 Análise Multivariada de Perfis .....	60
5.2.2 Contrastes construídos por meio da MANOVA .....	61
5.2.3 Interpretação dos resultados obtidos e conclusões .....	64
<b>6. Considerações finais sobre as análises estatísticas realizadas .....</b>	<b>65</b>
<b>7. Referências bibliográficas .....</b>	<b>66</b>
<b>Apêndice .....</b>	<b>68</b>

## 1. Introdução

O termo “medidas repetidas” é usado para designar medidas feitas na mesma variável ou na mesma unidade experimental em mais de uma ocasião (DIGGLE, 1988; CROWDER & HAND, 1990), se referindo a situações onde a mesma característica é observada em diferentes tempos ou localizações para uma mesma unidade experimental (JOHNSON & WICHERN, 2007). Os experimentos com medidas repetidas envolvem os fatores “tratamentos” e “tempos” / “espaços”, tendo como principal objetivo examinar e comparar as tendências dos tratamentos ao longo do tempo ou de diferentes espaços (FERREIRA, 2012). Assim, um planejamento longitudinal trata-se de um caso particular de medidas repetidas, referindo-se a situações em que há repetição de uma medida ao longo do tempo (FARAWAY, 2006).

A Análise Multivariada de Perfis (AMP) é uma alternativa para analisar dados mensurados no tempo (FERREIRA, 2012), uma vez que é uma solução natural para dados de medidas repetidas (SINGER & ANDRADE, 1986). Esse tipo de análise é feito com o objetivo de testar hipóteses sobre os perfis médios de respostas dos diversos tratamentos, ou seja, sobre os valores médios da variável resposta nas diferentes condições de observação (DIAS, 2015).

Experimentos com medidas repetidas no tempo são bastante comuns na prática, sendo utilizados por pesquisadores de diversas áreas quando o objetivo é verificar o comportamento de um determinado indivíduo ao longo do tempo, seja o mesmo uma planta, um animal, uma pessoa, entre outros (XAVIER, 2000). No caso deste projeto, a metodologia da AMP foi utilizada para analisar dois conjuntos de dados: um proveniente de um experimento com culturas de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas a diferentes manejos de irrigação e níveis de nitrogênio, realizado em delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas; e outro proveniente de um experimento sobre a resistência e suscetibilidade de progênies de cacau (Theobroma cacao L.) à doença denominada “murcha-do-Ceratocystis”, causada pelo patógeno *Ceratocystis cacaofunesta*.

Com base nessas informações, a AMP foi utilizada para comparar os perfis médios descritos ao longo do tempo pelos diferentes tratamentos utilizados nos experimentos, para cada uma das variáveis avaliadas. Assim, pôde-se observar as semelhanças e diferenças entre os perfis descritos ao longo do tempo por cada um dos tratamentos empregados a partir de contrastes de vetores de médias multivariados, o que permitiu compará-los do ponto de vista estatístico e testar as hipóteses pertinentes à AMP. Dessa forma, pôde-se observar a aplicação da metodologia da Análise Multivariada de Perfis para duas plantas que traduzem ciclos de culturas diferentes: o arroz, que é uma cultura anual e de ciclo curto; e o cacau, que é uma cultura perene e de ciclo longo.

## 2. Revisão de bibliografia

### 2.1 Imputação múltipla de dados

A imputação de dados consiste em uma técnica que substitui dados perdidos ou em falta por meio de valores estimados a partir das unidades observadas em um conjunto de dados específico. Dessa forma, para se utilizar os métodos de imputação descritos na literatura, são considerados alguns padrões e mecanismos de dados ausentes (RUBIN, 1976).

Existem diferentes métodos de imputação, os quais podem ser classificados em simples ou múltiplos (mais complexos), mas todos possuem como objetivo estimar os valores ausentes, buscando proporcionar uma matriz de dados completa para a análise posterior pelos métodos estatísticos. A imputação simples é baseada na estimação do valor em falta uma única vez para cada valor ausente, enquanto a imputação múltipla fornece várias opções de imputação para cada valor em falta, o que possibilita uma melhor estimativa dos valores em falta e maiores informações de variabilidade e tendência central dos mesmos (SILVA, 2012). Assim, a escolha do método de imputação depende dos padrões de perda nos dados e do tipo da variável imputada (SAS Institute Inc., 2001).

## 2.2 Pressuposições do modelo estatístico multivariado

A análise de perfis é um tipo de análise que pode ser realizada utilizando-se técnicas univariadas e multivariadas, tendo como principal objetivo testar hipóteses sobre os valores médios da variável resposta nas diversas ocasiões de observação e compará-los entre os diferentes grupos de unidades experimentais ou tratamentos (FREITAS et al., 2008). Assim, a escolha por uma dessas técnicas depende das suposições que podem ser admitidas como verdadeiras para o conjunto de dados em estudo (FERREIRA, 2012). Além da distribuição normal dos erros associados às parcelas, que engloba o fator de “tratamentos” ou “grupos”, como os associados às subparcelas, onde são alocados os “tempos” e a interação “tempos x tratamentos”, deve ser verificada a estrutura da matriz de covariâncias dos dados, a qual determina se deve ser utilizado o modelo de análise univariado ou multivariado através da condição de Huynh-Feldt (condição de H-F).

Huynh & Feldt (1970) mostraram que, em um delineamento de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo, o teste F com relação à parcela tem distribuição F exata, mas com relação à subparcela só terá distribuição F exata se a matriz de covariâncias satisfizer a pressuposição de que as variâncias da diferença entre pares de erros sejam todas homogêneas e os dados sejam independentes entre si (não correlacionados). Essas pressuposições constituem a denominada condição de H-F, pela qual a matriz de covariâncias é expressa, para um  $\lambda > 0$ , como:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) - \lambda}{2} & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_3^2) - \lambda}{2} & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_4^2) - \lambda}{2} \\ \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2) - \lambda}{2} & \sigma_2^2 & \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_3^2) - \lambda}{2} & \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_4^2) - \lambda}{2} \\ \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_1^2) - \lambda}{2} & \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_2^2) - \lambda}{2} & \sigma_3^2 & \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_4^2) - \lambda}{2} \\ \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_1^2) - \lambda}{2} & \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_2^2) - \lambda}{2} & \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_3^2) - \lambda}{2} & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Em que  $\lambda$  é a diferença entre a média das variâncias e a média das covariâncias.

A condição de H-F é uma condição necessária e suficiente para que o teste F da análise de variância usual, no esquema de delineamento de parcelas subdivididas no tempo, seja válido (XAVIER, 2000). Assim, quando esta condição é atendida, pode ser utilizado o modelo de análise univariado. No entanto, a condição de H-F raramente é observada em situações de medidas repetidas no tempo, uma vez que as observações feitas para dados dessa natureza usualmente são correlacionadas entre si, o que não satisfaz a suposição de que todas as observações sejam independentes (MILLIKEN & JOHNSON, 1992; VONESH & CHINCHILLI, 1997; SILVA et al., 2012). Nesses casos, é utilizado o modelo de análise multivariado, o qual assume uma estrutura para a matriz de covariâncias com a forma mais geral possível, de forma que as variâncias possam ser heterogêneas e as observações apresentem correlação entre si (XAVIER, 2000).

### **2.3 Teste de esfericidade de Mauchly**

Segundo Huynh & Feldt (1978), uma condição necessária e suficiente para que a Análise de Variância Univariada (ANOVA) possa ser empregada no esquema de parcelas subdivididas para um experimento com medidas repetidas é que a matriz de covariâncias entre os tempos satisfaça a condição de esfericidade, ou seja, que as variâncias entre os pares de erros sejam todas iguais. O teste de esfericidade proposto por Mauchly (1940) consiste em verificar se uma população normal multivariada apresenta variâncias iguais e correlações nulas. Se essa condição for atendida, permitindo que a população apresente tal simetria, a matriz de covariâncias será denominada de esférica (MAUCHLY, 1940).

A matriz de covariâncias é chamada de esférica quando a hipótese  $H_0: C \Sigma C' = \lambda I_{t-1}$  é satisfeita, sendo que:

$C$ : é a matriz dos coeficientes dos contrastes ortogonais normalizados, que representa o total de hipóteses nulas;

$\Sigma$ : é a matriz de covariâncias (populacional);

$\lambda$  : é um escalar maior do que zero;

$I$  : é a matriz identidade.

Então, sendo  $S$  a matriz de covariância amostral, a estatística de teste formulada por Mauchly para a hipótese nula será:

$$W = \frac{(t-1)^{t-1} |CSC'|}{(tr(CSC'))^{t-1}},$$

com  $f = \frac{1}{2}t(t-1) - 1$  graus de liberdade.

Assim, se o teste de Mauchly resultar em não significativo, conclui-se que a matriz de covariância é do tipo esférica e a condição de H-F para a matriz de covariâncias foi satisfeita, o que permite a utilização do teste univariado. No entanto, se o teste tiver resultado significativo, conclui-se que a condição de H-F para a matriz de covariâncias não foi satisfeita, recorrendo-se à utilização da Análise Multivariada de Perfis (FERNANDEZ, 1991; XAVIER, 2000; De KETELAERE et al., 2003; AMARAL, 2011).

## 2.4 Análise Multivariada de Perfis

A denominação de Análise Multivariada de Perfis deve-se ao fato de serem analisadas, simultaneamente, as relações entre as medidas múltiplas da variável tempo/espaço para cada indivíduo (unidade experimental) com alguma outra variável, usualmente denominada de tratamento (SINGER & ANDRADE, 1986; VIEIRA et al., 2007; FERREIRA, 2012). Dessa forma, o conceito da análise

multivariada de perfis se relaciona com as medidas repetidas, as quais especificam múltiplas observações da mesma característica em uma ou mais variáveis respostas na mesma unidade experimental (NOBRE & SINGER, 2007).

Esse modelo pode ser representado matricialmente na forma usual da Análise Multivariada da Variância (MANOVA) (DIAS, 2015), isto é:

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Em que:

$Y$ : é a matriz dos dados observados de  $t$  respostas para os  $n$  indivíduos;

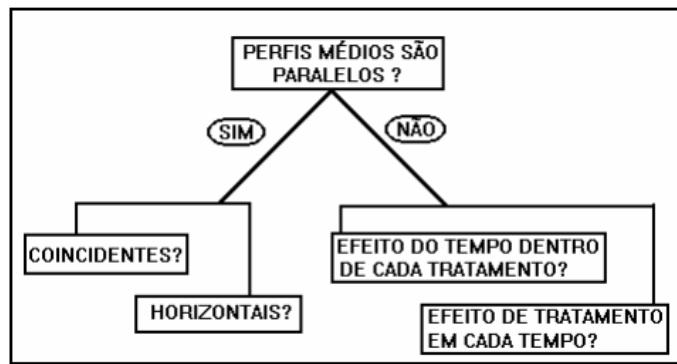
$X$ : é a matriz de especificação do modelo (matriz de delineamento);

$\beta$ : é a matriz de parâmetros;

$\varepsilon$ : é a matriz de erros.

Dessa forma, conforme se encontra em Dias (2015), a Análise Multivariada de Perfis visa responder às seguintes perguntas:

- (1) Os perfis médios de resposta dos diferentes tratamentos são **paralelos** (ou seja, a interação entre tratamento e tempo é nula)?
- (2) Se os perfis são paralelos, eles são **coincidentes** (ou seja, o efeito de tratamento é nulo)?
- (3) Se os perfis são paralelos, eles são **horizontais** (ou seja, o efeito do tempo é nulo)?
- (4) Se os perfis não são paralelos, o efeito do tempo é nulo dentro de cada um dos tratamentos?
- (5) Se os perfis não são paralelos, o efeito de tratamento é nulo dentro de cada um dos tempos?



**Figura 1.** Perguntas a serem respondidas através da Análise Multivariada de Perfis (DIAS, 2015).

Com base nisso, as hipóteses de interesse para a Análise Multivariada de Perfis podem ser descritas como se segue:

a)  $H_{01}$ : os perfis médios de respostas aos tratamentos são paralelos, isto é, não existe interação entre os fatores que definem os tratamentos e os tempos mensurados. Esta hipótese deve ser a primeira a ser testada, uma vez que sua aceitação determinará a forma das outras hipóteses de interesse. Na forma matricial, em relação aos parâmetros do modelo:

$$H_{0I} = \begin{bmatrix} \mu_{11} - \mu_{12} \\ \mu_{12} - \mu_{13} \\ \vdots \\ \mu_{1(t-1)} - \mu_{1t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{21} - \mu_{22} \\ \mu_{22} - \mu_{23} \\ \vdots \\ \mu_{2(t-1)} - \mu_{2t} \end{bmatrix} = \dots = \begin{bmatrix} \mu_{g1} - \mu_{g2} \\ \mu_{g2} - \mu_{g3} \\ \vdots \\ \mu_{g(t-1)} - \mu_{gt} \end{bmatrix}$$

b)  $H_{02}$ : os perfis médios de respostas referentes aos tratamentos são coincidentes, isto é, não há efeito desse fator. Na forma matricial, em relação aos parâmetros do modelo:

$$H_{0T} = \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{21} \\ \vdots \\ \mu_{g1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{12} \\ \mu_{22} \\ \vdots \\ \mu_{g2} \end{bmatrix} = \dots = \begin{bmatrix} \mu_{1t} \\ \mu_{2t} \\ \vdots \\ \mu_{gt} \end{bmatrix}$$

c)  $H_{03}$ : os perfis médios de respostas referentes aos tratamentos são paralelos ao eixo das abscissas, isto é, não há efeito do fator tempo. Na forma matricial, em relação aos parâmetros do modelo:

$$H_{0G} = \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{12} \\ \vdots \\ \mu_{1t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{21} \\ \mu_{22} \\ \vdots \\ \mu_{2t} \end{bmatrix} = \dots = \begin{bmatrix} \mu_{g1} \\ \mu_{g2} \\ \vdots \\ \mu_{gt} \end{bmatrix}$$

Qualquer hipótese sobre os parâmetros pode ser expressa na forma linear geral:

$$H: C\beta U = 0,$$

na qual  $C$  ( $\mathbf{c} \times \mathbf{g}$ ) e  $U$  ( $\mathbf{t} \times \mathbf{u}$ ) são matrizes de constantes conhecidas e postos  $\mathbf{c}$  e  $\mathbf{u}$ , respectivamente (XAVIER, 2000). Vale ressaltar que a matriz  $C$  é responsável por comparações entre os tratamentos (linhas da matriz  $\beta$ ) e a matriz  $U$ , por comparações entre as ocasiões de observação (colunas da matriz  $\beta$ ) (DIAS, 2015). Através da hipótese linear geral, as seguintes formas para as matrizes  $C$  e  $U$  podem ser obtidas (que não são únicas na forma de expressá-las):

$$H_{0I}: C_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix} \text{ e } U_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_{0T}: C_1 \text{ e } U_2 = 1_t$$

$$H_{0G}: C_2 = 1'_g \text{ e } U_1$$

Sendo  $1_t$  e  $1'_g$  vetores de uns com dimensões  $t$  e  $g$ , respectivamente.

Para testar a hipótese linear geral e verificar se a hipótese nula pode ser aceita ou rejeitada, são utilizadas as seguintes estatísticas: *Lambda de Wilks*, *Traço de Pillai*, *Traço de Lawley-Hotelling* e *Maior Raiz Característica de Roy* (DIAS, 2015). Esses testes não requerem a condição de H-F, pois são baseados em uma matriz de covariâncias sem estrutura, e os quatro testes multivariados podem produzir diferentes níveis descritivos (XAVIER, 2000). Em geral, a ordem de preferência em termos de poder é Traço de Pillai, Lambda de Wilks, Traço de Lawley-Hotelling e Roy, mas o teste mais comumente utilizado é o Lambda de Wilks (XAVIER, 2000).

Caso a hipótese  $H_{01}$  de paralelismo dos perfis não seja aceita, a igualdade das respostas médias dos tratamentos pode ser testada separadamente para cada um dos  $t$  tempos, através de  $t$  análises de variâncias univariadas.

Além destas questões, também podem ser construídos contrastes multivariados por meio da MANOVA, os quais permitem comparar os perfis médios dois a dois. Isso possibilita a verificação, de forma mais específica, de quais destes perfis estariam se diferenciando dos outros. Para avaliar a significância destes contrastes, são utilizadas as estatísticas multivariadas citadas anteriormente (*Lambda de Wilks*, *Traço de Pillai*, *Traço de Lawley-Hotelling* e *Maior Raiz Característica de Roy*).

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo geral**

Comparar os perfis médios descritos pelos tratamentos em cada um dos experimentos (arroz e cacau), para cada variável avaliada, por meio das hipóteses da Análise Multivariada de Perfis.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Testar as hipóteses de interesse para a Análise Multivariada de Perfis, verificando o paralelismo, a coincidência e a horizontalidade dos perfis médios obtidos.
2. Analisar se a variação das variáveis medidas ao longo do tempo ocorre de forma homogênea, ou seja, se o acréscimo ou decréscimo das variáveis, entre cada um dos tempos, é igual, mesmo que apresentem valores diferentes em cada tempo.
3. Verificar se os perfis descritos para cada tratamento são estatisticamente iguais ao longo do tempo ou se diferem entre si de forma significante.
4. Averiguar se os perfis mantêm ou não suas variações constantes ao longo do tempo, ou seja, se a variação das variáveis medidas para cada tratamento ao longo do tempo de estudo é estatisticamente nula.

## 4. Material e métodos

### 4.1 Delineamento experimental

#### 4.1.1 Experimento com a cultura de arroz

O experimento foi realizado em delineamento aleatorizado em blocos com parcelas subdivididas e instalado nas estações chuvosas das safras 2014/2015 e 2015/2016. Os tratamentos atribuídos às parcelas foram manejos de irrigação, sendo estes: I) Lâmina Alternada de Ciclo Curto (LAIC – 7 dias inundado e 7 dias drenado); II) Lâmina Alternada de Ciclo Longo (LAIL – 21 dias inundado e 7 dias drenado); III) Lâmina Contínua (LC); IV) Sem Irrigação Suplementar (SL); e V) Solo Saturado (SS – 100% dos poros preenchidos com água, mas sem formação de lâmina). Os tratamentos das subparcelas foram dois níveis de nitrogênio (0 e 150 kg.ha<sup>-1</sup>), aplicados na forma de ureia em 4 parcelas iguais (semeadura, perfilhamento, diferenciação da panícula e embrorrachamento). Realizou-se 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais por safra.

As avaliações das variáveis consideradas foram realizadas a partir de 15 dias após a emergência das plântulas e sucederam-se nesse intervalo até a maturidade fisiológica. Foram realizadas 7 avaliações por safra, que consistiram nas seguintes variáveis: Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), dada em quilogramas de biomassa seca por hectare; Acúmulo de Nitrogênio (AN), dado em quilogramas de nitrogênio por hectare; Teor de Nitrogênio (TN), dado em gramas de nitrogênio por quilograma de matéria seca; e Índice de Área Foliar (IAF), dado em metros quadrados de folhas por metros quadrados de solo.

*Os dados deste experimento foram fornecidos pelo Prof. Dr. André Fróes de Borja Reis e pelo Prof. Dr. José Laércio Favarin, docentes do Departamento de Produção Vegetal (LPV) da ESALQ/USP.*

#### **4.1.2 Experimento com a cultura de cacau**

O experimento foi realizado em delineamento aleatorizado em blocos, com 20 progênies de cacaueiro (tratamentos) e 4 repetições de 16 mudas, totalizando 64 mudas para cada tratamento. Todas as plantas foram inoculadas com o patógeno *Ceratocystis cacaofunesta*, causador da doença denominada de “murcha-do-*Ceratocystis*”, com a finalidade de avaliar a resistência relativa de cada progênie à doença.

Foram realizadas 4 avaliações ao longo do tempo para cada tratamento, tomando como variável a porcentagem de mudas mortas (%PM) das progênies. A primeira avaliação foi feita 32 dias após a inoculação do patógeno nas plantas, enquanto que as demais avaliações foram feitas a partir da primeira, com um espaço de tempo de 4 dias entre cada uma delas.

*Os dados deste experimento foram fornecidos pelo Prof. Dr. Luiz Roberto Martins Pinto, professor pleno da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilhéus-BA, na área de estatística básica e experimental.*

## **4.2 Imputação múltipla de dados**

No experimento com a cultura de arroz, foi constatado que houve a perda de alguns dados em determinados tempos e variáveis durante as mensurações. Como a análise pelo proc *GLM* requer que nenhum valor tenha sido perdido (como será explicado no tópico 4.5), foi necessária a realização de uma imputação múltipla de dados, método que consiste em substituir cada valor perdido por um conjunto de valores plausíveis que representa a incerteza sobre o valor a ser imputado (RUBIN, 1987).

#### 4.3 Teste de esfericidade de Mauchly

Nas análises realizadas, para verificar se a metodologia multivariada da análise de perfis poderia ser aplicada, foi feito o teste de esfericidade de Mauchly, o qual verifica se uma população normal multivariada apresenta variâncias iguais e correlações nulas. Dessa forma, buscou-se verificar se os dados experimentais atendem ou não à condição de Huyn-Feldt (condição de H-F) para a aplicação da AMP.

#### 4.4 Análise Multivariada de Perfis

A Análise Multivariada de Perfis permitiu a verificação das hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade entre os perfis médios obtidos pelos dados analisados. A hipótese de paralelismo verificou se os padrões de mudanças ao longo do tempo nos perfis médios são os mesmos; a hipótese de coincidência averiguou se os perfis médios são iguais de tal forma que todos os seus pontos estatisticamente coincidem; e, por fim, a hipótese de horizontalidade examinou se os perfis médios permanecem estatisticamente constantes ao longo do tempo. Para testar tais hipóteses e verificar se as mesmas podem ou não ser rejeitadas, foram utilizadas as seguintes estatísticas: *Lambda de Wilks*, *Traço de Pillai*, *Traço de Lawley-Hotelling* e *Maior Raiz Característica de Roy*.

Após esses testes, foram construídos contrastes pela MANOVA para comparar os perfis médios dois a dois e verificar, de forma mais específica, quais destes perfis estariam se diferenciando dos outros. Para avaliar a significância dos contrastes construídos, foram utilizadas as mesmas estatísticas que testaram as hipóteses da Análise Multivariada de perfis: *Lambda de Wilks*, *Traço de Pillai*, *Traço de Lawley-Hotelling* e *Maior Raiz Característica de Roy*.

#### 4.5 Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada com o auxílio do programa SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Dessa forma, foi utilizado o procedimento do SAS denominado *proc GLM*, usando o comando *REPEATED*, o qual utiliza, para dados de medidas repetidas, uma estrutura tradicional para obter os resultados, tanto para o modelo univariado quanto para o multivariado, para o qual foi utilizado o comando *MANOVA*.

O *proc GLM* requer que os dados sejam balanceados, não utilizando dados de indivíduos que tenham algum valor perdido, o que justifica a imputação de dados. Esse procedimento também requer a indicação de uma combinação linear (tipo de contraste) para os dados de medidas repetidas, uma vez que um conjunto de contrastes pode ser utilizado para analisar tendências sobre o fator de medidas repetidas e, então, realizar comparações entre os níveis desse mesmo fator. Desse modo, esses contrastes são utilizados com a finalidade de amenizar a influência de algumas estruturas de covariâncias na análise univariada de medidas repetidas, que podem invalidar os resultados dos testes. Além disso, o teste de esfericidade também está incluído no *proc GLM* (XAVIER, 2000).

A imputação múltipla de dados foi realizada por meio do procedimento denominado *proc MI*, o qual cria múltiplos conjuntos de dados imputados para dados multivariados  $p$ -dimensionais. Dessa forma, o *proc MI* utiliza métodos que incorporam uma variabilidade adequada ao longo das  $m$  imputações.

## 5. Resultados e discussão

### 5.1 Análises referentes ao experimento com a cultura de arroz

A seguir, serão discutidos os resultados das análises referentes ao experimento com a cultura de arroz, de acordo com cada uma das quatro variáveis consideradas (MSPA, AN, TN e IAF), nas safras 2014/2015 e 2015/2016. As análises referentes aos perfis médios obtidos no experimento foram separadas em três conjuntos, cada qual com sua especificidade.

No primeiro conjunto de análises, foram comparados os perfis médios relacionados às doses de nitrogênio (0 e 150 kg.ha<sup>-1</sup>) aplicadas nas subparcelas para cada uma das quatro variáveis estudadas, com o objetivo de verificar se as diferentes doses de nitrogênio poderiam atribuir diferenças estatisticamente significantes entre as plantas ao longo do tempo, independentemente do tratamento (manejo de irrigação) a que foram submetidas.

No segundo conjunto de análises, fez-se a comparação dos perfis médios relacionados aos cinco tratamentos considerados no experimento (LAIC, LAIL, LC, SL e SS), também para cada uma das quatro variáveis estudadas, com o objetivo de verificar se os diferentes manejos de irrigação adotados podem conferir diferenças estatisticamente significantes entre as plantas ao longo do tempo, independentemente da dose de nitrogênio aplicada.

Por fim, o terceiro conjunto de análises comparou os perfis médios descritos a partir da combinação entre cada manejo de irrigação e dose de nitrogênio utilizados no experimento, verificando se a interação entre esses dois componentes confere diferenças estatisticamente significantes entre cada um dos perfis médios observados.

Para a realização destes conjuntos de análises, foi necessária a aplicação de uma imputação múltipla de dados, uma vez que foi constatada a perda de alguns dados, em determinados tempos e variáveis, durante as mensurações deste experimento. A análise pelo *proc GLM* do software SAS requer que nenhum valor tenha sido perdido, senão toda a linha de observações seria desconsiderada na análise, mesmo que os valores para outras variáveis

estivessem presentes. No Apêndice, o item A ilustra um exemplo de programação utilizada para a imputação múltipla de dados.

Feito isso, pôde-se prosseguir com a Análise Multivariada de Perfis, verificando-se o teste de esfericidade de Mauchly e testando as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade para os perfis médios de todas as análises realizadas, além da verificação dos contrastes multivariados entre os mesmos. Nas Tabelas apresentadas, somente o resultado do teste estatístico por Lambda de Wilks foi representado, uma vez que este é mais robusto que os demais. Todos estes procedimentos foram realizados por meio do *proc GLM* do software SAS.

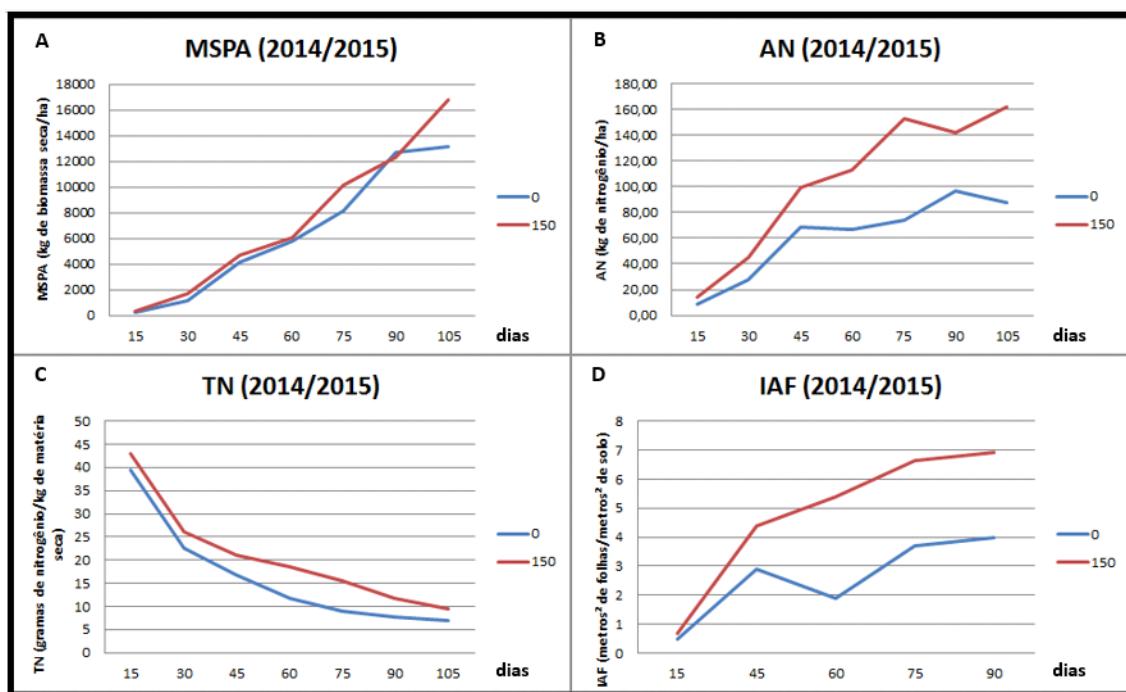
As análises de cada uma das safras foram realizadas separadamente devido à possibilidade de existir diferenças entre os erros experimentais dos dois experimentos, uma vez que, na safra 2014/2015, a quantidade de chuvas foi maior, enquanto na safra 2015/2016 ocorreram temperaturas mais elevadas no ambiente.

### **5.1.1 Primeiro conjunto de análises**

A seguir, serão discutidos os resultados do primeiro conjunto de análises, em que foram comparados os perfis médios relacionados às doses de nitrogênio, em  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , aplicadas nas subparcelas, de acordo com cada uma das quatro variáveis consideradas neste experimento, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Para facilitar as referências a cada um dos perfis médios estudados, estes serão denominados por meio de suas doses de nitrogênio correspondentes (ou seja, perfis médios 0 e 150). Todos os testes mencionados foram realizados ao nível 5% de significância. No Apêndice, o item B ilustra um exemplo de programação utilizada para a realização das análises referentes a este conjunto.

### 5.1.1.1 Análise Multivariada de Perfis

Para a safra 2014/2015, a Figura 2 foi construída a partir dos perfis médios obtidos para cada dose de nitrogênio aplicada em relação às quatro variáveis estudadas neste experimento (MSPA, AN, TN e IAF), ao longo do tempo. Como pode ser observado na Figura 2.D, a variável IAF, diferentemente das outras variáveis, não foi mensurada nos tempos 30 e 105 dias nesta safra devido a impossibilidades técnicas, de forma que a análise dos perfis médios para doses de nitrogênio em relação ao IAF foi realizada considerando-se somente os valores mensurados nos tempos avaliados (15, 45, 60, 75 e 90 dias).



**Figura 2.** Gráficos dos perfis médios descritos ao longo do tempo, na safra 2014/2015, pelas duas doses de nitrogênio (0 e 250  $kg.ha^{-1}$ ) aplicadas nas subparcelas, para cada variável estudada. A – Gráfico dos perfis médios para a variável Matéria Seca da Parte Aérea; B – Gráfico dos perfis médios para a variável Acúmulo de Nitrogênio; C – Gráfico dos perfis médios para a variável Teor de Nitrogênio; D – Gráfico dos perfis médios para a variável Índice de Área Foliar.

A partir desses dados, foi feita a AMP sobre os perfis médios de dose de nitrogênio para cada uma das variáveis citadas anteriormente, sendo realizados: teste de esfericidade de Mauchly; teste da hipótese de paralelismo dos perfis; teste da hipótese de coincidência dos perfis; e teste da hipótese de horizontalidade dos perfis.

Para o caso das quatro variáveis, o teste de esfericidade de Mauchly foi significativo, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, como pode ser notado na Tabela 1. Dessa forma, a análise dos perfis pode ser realizada por meio da metodologia multivariada. Os testes relacionados às hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade foram todos significativos, para todas as variáveis, de forma que as três hipóteses foram rejeitadas, conforme pode ser observado na Figura 2 e na Tabela 2.

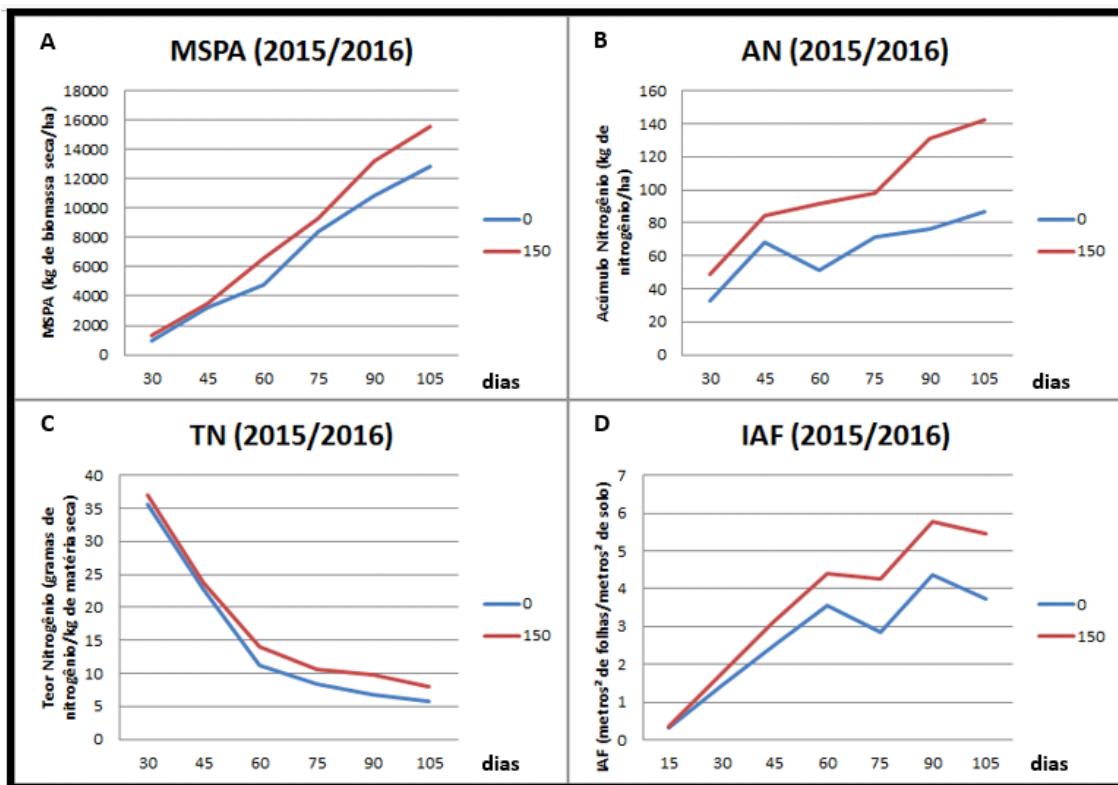
**Tabela 1.** Resultados dos testes de esfericidade de Mauchly para as quatro variáveis (MSPA, AN, TN e IAF) consideradas neste experimento, na safra 2014/2015.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade			
MSPA	AN	TN	IAF
<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

**Tabela 2.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados na safra 2014/2015.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Paralelismo	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Coincidência	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Horizontalidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Para a safra 2015/2016, a Figura 3 foi construída a partir das médias obtidas para cada dose de nitrogênio aplicada em relação às quatro variáveis estudadas neste experimento (MSPA, AN, TN e IAF), ao longo do tempo. Como pode ser observado nas Figuras 3.A, 3.B e 3.C, as variáveis MSPA, AN e TN não foram mensuradas no tempo 15 dias nesta safra devido a impossibilidades técnicas, de forma que as análises dos perfis médios para doses de nitrogênio em relação a estas variáveis foram realizadas considerando-se somente os valores mensurados nos demais tempos. No caso da variável IAF nesta safra, todos os valores dos 7 tempos foram mensurados, como se pode observar na Figura 3.D.



**Figura 3.** Gráficos dos perfis médios descritos ao longo do tempo, na safra 2015/2016, pelas duas doses de nitrogênio (0 e 250  $kg·ha^{-1}$ ) aplicadas nas subparcelas, para cada variável estudada. A – Gráfico dos perfis médios para a variável Matéria Seca da Parte Aérea; B – Gráfico dos perfis médios para a variável Acúmulo de Nitrogênio; C – Gráfico dos perfis médios para a variável Teor de Nitrogênio; D – Gráfico dos perfis médios para a variável Índice de Área Foliar.

A partir desses dados, também foi realizada a AMP sobre os perfis médios de dose de nitrogênio para cada uma das variáveis estudadas, fazendo-se os mesmos testes de hipóteses citados para os dados da safra 2014/2015.

O teste de esfericidade de Mauchly também foi significativo para as quatro variáveis nesta safra, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, como pode ser notado na Tabela 3. Dessa forma, a análise dos perfis pôde ser realizada por meio da metodologia multivariada. Os testes relacionados às hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade também foram todos significativos, para todas as variáveis, de forma que as três hipóteses foram rejeitadas, conforme pode ser observado na Figura 3 e na Tabela 4.

**Tabela 3.** Resultados dos testes de esfericidade de Mauchly para as quatro variáveis (MSPA, AN, TN e IAF) consideradas neste experimento, na safra 2015/2016.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade			
MSPA	AN	TN	IAF
<0,0001	0,0106	<0,0001	<0,0001

**Tabela 4.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados na safra 2015/2016.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Paralelismo	0,0061	0,0022	<0,0001	<0,0001
Coincidência	0,0003	<0,0001	0,0310	<0,0001
Horizontalidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

#### 5.1.1.2 *Contrastes construídos por meio da MANOVA*

Os testes relacionados a todos os contrastes construídos por meio da MANOVA entre os perfis médios descritos pelas doses de nitrogênio 0 e 150 kg.ha<sup>-1</sup>, para as quatro variáveis estudadas, em ambas as safras, foram significativos, o que indica que os perfis médios de doses de nitrogênio são estatisticamente diferentes entre si em todas as variáveis avaliadas. Estes resultados podem ser observados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Resultados dos contrastes construídos em relação às variáveis estudadas nas safras 2014/2015 e 2015/2016.

Contraste (0 x 150)	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Safra 2014/2015	0,0003	0,0001	<0,0001	<0,0001
Safra 2015/2016	0,0033	<0,0001	<0,0001	<0,0001

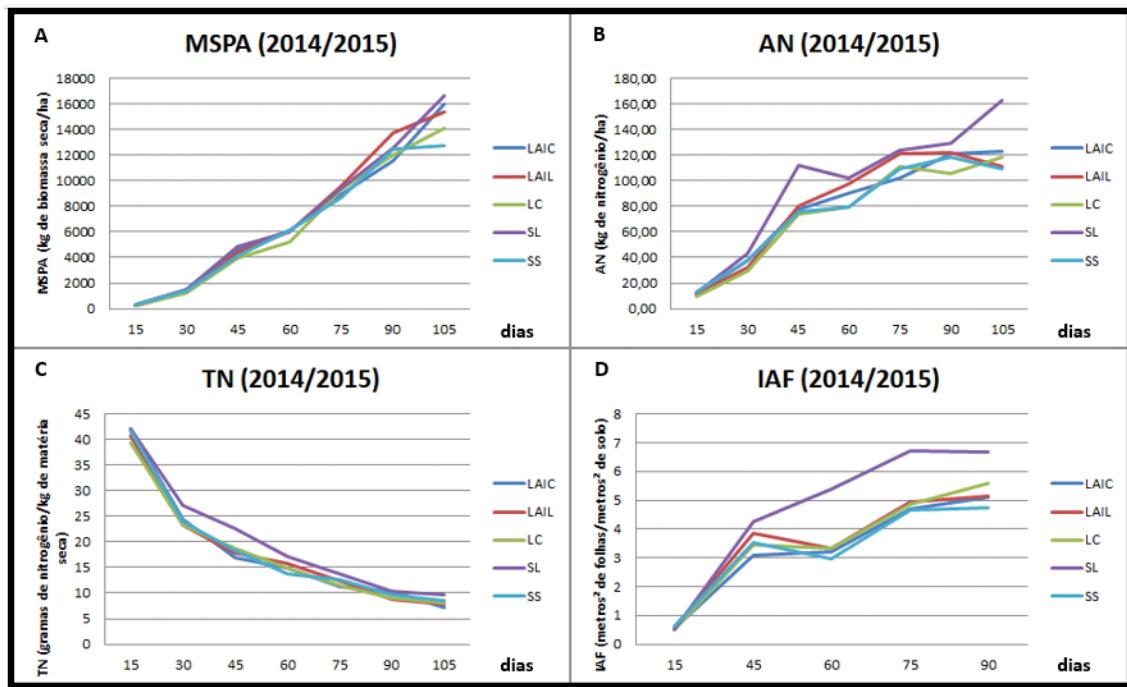
A partir dos contrastes construídos para os perfis descritos pelas doses de nitrogênio, constatou-se que, em todas as variáveis e em ambas as safras, o perfil médio da dose 150 kg. ha<sup>-1</sup> foi superior ao perfil da dose 0 kg. ha<sup>-1</sup>, como pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

### **5.1.2 Segundo conjunto de análises**

A seguir, serão discutidos os resultados do segundo conjunto de análises, em que foram comparados os perfis médios relacionados aos manejos de irrigação (tratamentos) aplicados nas parcelas, de acordo com cada uma das quatro variáveis consideradas neste experimento, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Para facilitar as referências a cada um dos perfis médios estudados, estes serão denominados por meio de seus manejos de irrigação correspondentes (ou seja, perfis médios LAIC, LAIL, LC, SL e SS). Todos os testes mencionados foram realizados ao nível 5% de significância. No Apêndice, o item C ilustra um exemplo de programação utilizada para a realização das análises referentes a este conjunto.

#### *5.1.2.1 Análise Multivariada de Perfis*

Para a safra 2014/2015, a Figura 4 foi construída a partir dos perfis médios obtidos para cada manejo de irrigação em relação às quatro variáveis estudadas neste experimento (MSPA, AN, TN e IAF), ao longo do tempo. Como foi citado anteriormente, a variável IAF, diferentemente das outras variáveis, não foi mensurada nos tempos 30 e 105 dias nesta safra, como pode ser observado na Figura 4.D, de forma que a análise dos perfis médios para manejos de irrigação em relação ao IAF foi realizada considerando-se somente os valores mensurados nos tempos avaliados (15, 45, 60, 75 e 90 dias).



**Figura 4.** Gráficos dos perfis médios descritos ao longo do tempo, na safra 2014/2015, pelos cinco tratamentos (LAIC, LAIL, LC, SL e SS), para cada variável estudada. A – Gráfico dos perfis médios para a variável Matéria Seca da Parte Aérea; B – Gráfico dos perfis médios para a variável Acúmulo de Nitrogênio; C – Gráfico dos perfis médios para a variável Teor de Nitrogênio; D – Gráfico dos perfis médios para a variável Índice de Área Foliar.

A partir desses dados, foi feita a AMP sobre os perfis médios dos manejos de irrigação para cada uma das variáveis citadas anteriormente, sendo realizados: teste de esfericidade de Mauchly; teste da hipótese de paralelismo dos perfis; teste da hipótese de coincidência dos perfis; e teste da hipótese de horizontalidade dos perfis.

Para o caso das quatro variáveis, o teste de esfericidade de Mauchly foi significativo, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, o que pode ser notado na Tabela 6. Dessa forma, a análise dos perfis pode ser realizada por meio da metodologia multivariada. As hipóteses de paralelismo e coincidência não foram rejeitadas em nenhuma variável, pois seus respectivos testes não foram significativos para rejeitar tais hipóteses. No entanto, a hipótese de horizontalidade foi rejeitada para todas as variáveis, uma vez que o seu respectivo teste foi significativo em todas estas. Estes resultados podem ser verificados por meio da Figura 4 e da Tabela 7.

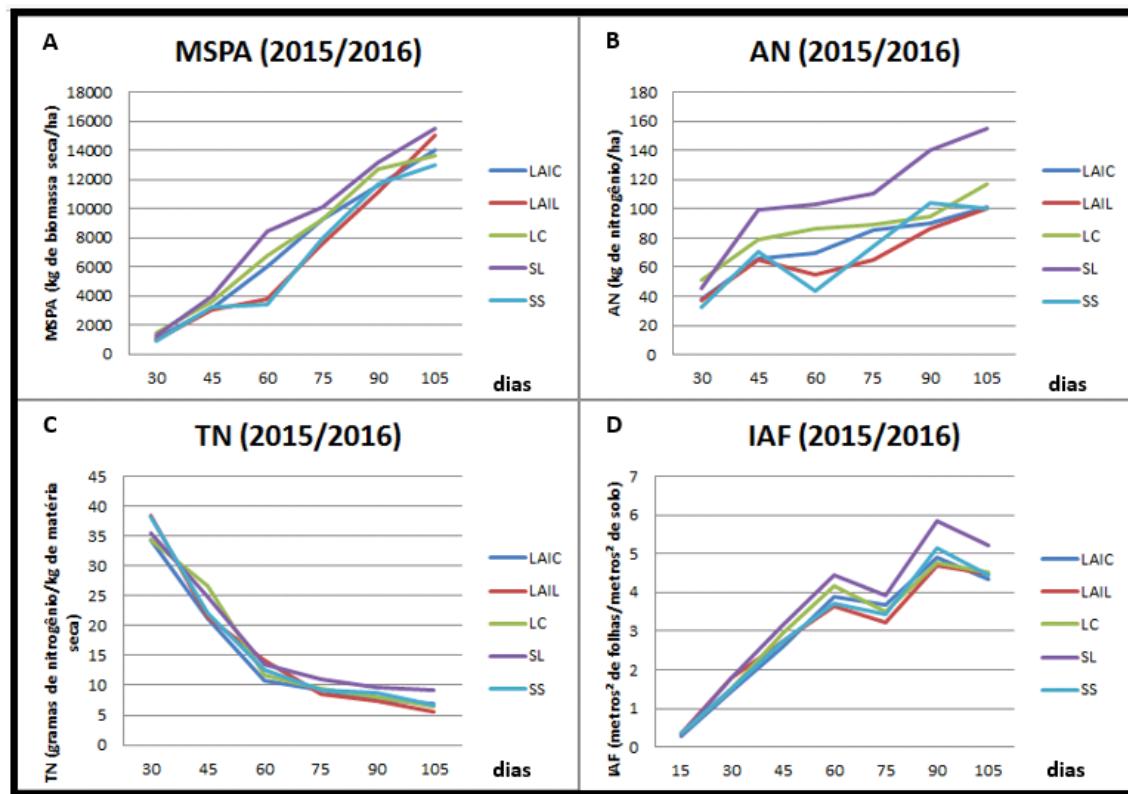
**Tabela 6.** Resultados dos testes de esfericidade de Mauchly para as quatro variáveis (MSPA, AN, TN e IAF) consideradas neste experimento, na safra 2014/2015.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade			
MSPA	AN	TN	IAF
<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

**Tabela 7.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados na safra 2014/2015.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Paralelismo	0,6606	0,3822	0,0801	0,3918
Coincidência	0,2209	0,4230	0,3457	0,1534
Horizontalidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Para a safra 2015/2016, a Figura 5 foi construída a partir das médias obtidas para cada manejo de irrigação em relação às quatro variáveis estudadas neste experimento (MSPA, AN, TN e IAF), ao longo do tempo. Como foi citado anteriormente, as variáveis MSPA, AN e TN não foram mensuradas no tempo 15 dias nesta safra, como pode ser observado nas Figuras 5.A, 5.B e 5.C, de forma que as análises dos perfis médios para manejos de irrigação em relação a estas variáveis foram realizadas considerando-se somente os valores mensurados nos demais tempos. No caso da variável IAF nesta safra, todos os valores dos 7 tempos foram mensurados, como se pode observar na Figura 5.D.



**Figura 5.** Gráficos dos perfis médios descritos ao longo do tempo, na safra 2015/2016, pelos cinco tratamentos (LAIC, LAIL, LC, SL e SS) para cada variável estudada. A – Gráfico dos perfis médios para a variável Matéria Seca da Parte Aérea; B – Gráfico dos perfis médios para a variável Acúmulo de Nitrogênio; C – Gráfico dos perfis médios para a variável Teor de Nitrogênio; D – Gráfico dos perfis médios para a variável Índice de Área Foliar.

A partir desses dados, também foi realizada a AMP sobre os perfis médios de manejos de irrigação para cada uma das variáveis estudadas, fazendo-se os mesmos testes de hipóteses citados para os dados da safra 2014/2015.

O teste de esfericidade de Mauchly também foi significativo para as quatro variáveis nesta safra, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, como pode ser notado na Tabela 8. Dessa forma, a análise dos perfis pôde ser realizada por meio da metodologia multivariada.

Para a variável MSPA, os testes relacionados às hipóteses de paralelismo e coincidência foram ambos significativos, de forma que as duas hipóteses foram rejeitadas. Com a variável AN, a hipótese de paralelismo não foi rejeitada, pois o seu teste não foi significativo, enquanto a hipótese de coincidência, que apresentou teste significativo, foi rejeitada. Na variável TN, o teste referente à hipótese de paralelismo foi significativo (valor-*p* obtido: 0,0006), de modo que a mesma foi rejeitada, mas o teste referente à hipótese de coincidência não (valor-*p* obtido: 0,1145), o que impediria a sua rejeição. Nas bibliografias específicas, não foram encontradas explicações para a possibilidade de rejeição do paralelismo e não rejeição da coincidência, mas como esta somente ocorre quando a primeira hipótese não é rejeitada, então a mesma também foi rejeitada neste caso. Por fim, na variável IAF, as hipóteses de paralelismo e coincidência não foram rejeitadas, pois os seus respectivos testes não foram significativos. A hipótese de horizontalidade foi rejeitada para todas as variáveis, uma vez que o seu respectivo teste foi significativo em todas estas. Estes resultados podem ser verificados por meio da Figura 5 e da Tabela 9.

**Tabela 8.** Resultados dos testes de esfericidade de Mauchly para as quatro variáveis (MSPA, AN, TN e IAF) consideradas neste experimento, na safra 2015/2016.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade			
MSPA	AN	TN	IAF
<0,0001	0,0016	<0,0001	<0,0001

**Tabela 9.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados na safra 2015/2016.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Paralelismo	0,0141	0,1832	0,0006	0,6223
Coincidência	0,0070	0,0041	0,1145	0,3246
Horizontalidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

### 5.1.2.2 *Contrastes construídos por meio da MANOVA*

Na safra 2014/2015, observou-se para as variáveis MSPA, AN e TN que nenhum teste relacionado aos contrastes realizados foi significativo, o que indica que os perfis médios de manejo de irrigação não são estatisticamente diferentes entre si ao longo do tempo. No entanto, foi observado para a variável IAF que houve testes de contrastes significativos, dos quais se pôde tirar a seguinte conclusão: o perfil médio descrito pelo manejo de irrigação SL em relação à variável IAF é estatisticamente diferente dos demais perfis médios descritos para a mesma variável. Estes resultados podem ser observados na Tabela 10.

**Tabela 10.** Resultados dos contrastes construídos em relação às variáveis estudadas na safra 2014/2015.

Contraste (safra 2014/2015)	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
LAIC x LAIL	0,4128	0,7816	0,3800	0,6350
LAIC x LC	0,3343	0,8015	0,2854	0,6107
LAIC x SL	0,5976	0,2805	0,0574	0,0012
LAIC x SS	0,1900	0,9155	0,0778	0,9075
LAIL x LC	0,6965	0,5909	0,4668	0,7591
LAIL x SL	0,5976	0,3139	0,0695	0,0028
LAIL x SS	0,2596	0,6602	0,0661	0,8150
LC x SL	0,2935	0,1569	0,3085	0,0032
LC x SS	0,3706	0,5688	0,1291	0,4591
SL x SS	0,1465	0,1543	0,0631	0,0010

Na safra 2015/2016, observou-se que houve testes de contrastes significativos para as variáveis MSPA, AN e TN. Para a variável IAF, constatou-se que nenhum teste relacionado aos contrastes realizados foi significativo, de forma que os perfis médios de manejo de irrigação não foram estatisticamente diferentes entre si para essa variável ao longo do tempo. Estes resultados podem ser observados na Tabela 11.

**Tabela 11.** Resultados dos contrastes construídos em relação às variáveis estudadas na safra 2015/2016.

Contraste (safra 2015/2016)	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
LAIC x LAIL	0,1159	0,6489	0,0098	0,5376
LAIC x LC	0,0228	0,0594	0,0455	0,8160
LAIC x SL	0,0022	0,0004	0,0463	0,2808
LAIC x SS	0,0143	0,4018	0,0610	0,7015
LAIL x LC	0,0022	0,0118	0,0020	0,9074
LAIL x SL	0,0003	0,0002	0,0007	0,2742
LAIL x SS	0,4212	0,6312	0,1809	0,5366
LC x SL	0,1738	0,0072	0,0521	0,2338
LC x SS	0,0005	0,0180	0,0086	0,6174
SL x SS	0,0001	0,0003	0,0034	0,4528

Para a variável MSPA, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIC difere estatisticamente dos perfis médios LC, SL e SS; o perfil médio LAIL difere estatisticamente dos perfis médios LC e SL; o perfil médio LC difere estatisticamente dos perfis médios LAIC, LAIL e SS; o perfil médio SL difere estatisticamente dos perfis médios LAIC, LAIL e SS; e o perfil médio SS difere estatisticamente dos perfis médios LAIC, LC e SL.

No caso da variável AN, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIC difere estatisticamente do perfil médio SL; o perfil médio LAIL difere estatisticamente dos perfis médios LC e SL; o perfil médio LC difere estatisticamente dos perfis médios LAIL, SL e SS; o perfil médio SL difere estatisticamente de todos os demais perfis médios; e o perfil médio SS difere estatisticamente dos perfis médios LC e SL.

Quanto à variável TN, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIC difere estatisticamente dos perfis médios LAIL, LC e SL; o perfil médio LAIL difere estatisticamente dos perfis médios LAIC, LC e SL; o perfil médio LC difere estatisticamente dos perfis médios LAIC, LAIL e SS; o perfil médio SL difere estatisticamente dos perfis médios LAIC, LAIL e SS; e o perfil médio SS difere estatisticamente dos perfis médios LC e SL.

Considerando os contrastes significativos para as variáveis MSPA, AN e TN, observou-se, de modo geral, que: o perfil médio SL diferiu dos perfis médios LAIC, LAIL e SS para essas três variáveis; e o perfil médio LC diferiu dos perfis médios LAIL e SS para as três variáveis. Também observou-se que, nas duas safras, o perfil médio SL apresentou um maior destaque ao longo do tempo em relação aos demais perfis médios analisados, de modo que apresentou diferenças estatísticas suficientes para resultar em diversos contrastes significativos, como foi observado para a variável IAF na safra 2014/2015 e para as variáveis MSPA, AN e TN na safra 2015/2016.

Assim, a partir dos contrastes construídos para os perfis descritos pelos manejos de irrigação, constatou-se que, em todas as variáveis e em ambas as safras, o perfil médio do manejo de irrigação SL foi superior a todos os demais ao final do experimento, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

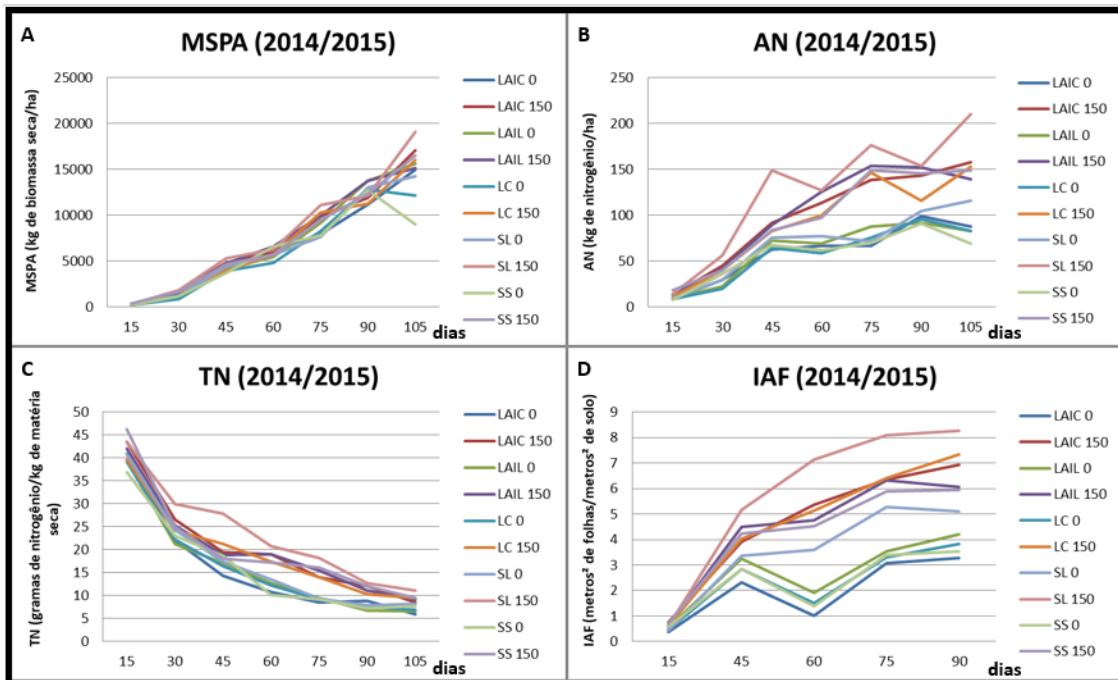
### **5.1.3 Terceiro conjunto de análises**

A seguir, serão discutidos os resultados das análises referentes ao experimento com a cultura de arroz, em que foram comparados os perfis médios relacionados à combinação entre cada manejo de irrigação (parcelas) e dose de nitrogênio (subparcelas) aplicados no experimento em questão, de acordo com cada uma das quatro variáveis consideradas, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Para facilitar as referências a cada um dos perfis médios estudados, estes serão denominados por meio da combinação entre o seu manejo de irrigação e dose de nitrogênio (por exemplo: o perfil médio SL 150 corresponde ao perfil descrito para a combinação entre o manejo de irrigação SL e a dose de nitrogênio 150 kg.ha<sup>-1</sup>, e assim por diante). Todos os testes mencionados foram realizados ao nível 5% de significância. No Apêndice, o item D ilustra um exemplo de programação utilizada para a realização das análises referentes a este conjunto.

### 5.1.3.1 Safra 2014/2015

#### 5.1.3.1.1 Análise Multivariada de Perfis

Para a safra 2014/2015, a Figura 6 foi construída a partir dos perfis médios obtidos para cada combinação entre manejos de irrigação e doses de nitrogênio, em relação às quatro variáveis estudadas neste experimento (MSPA, AN, TN e IAF), ao longo do tempo. Como pode ser observado na Figura 6.D, a variável IAF, diferentemente das outras variáveis, não foi mensurada nos tempos 30 e 105 dias nesta safra devido a impossibilidades técnicas, de forma que a análise destes perfis médios em relação ao IAF foi realizada considerando-se somente os valores mensurados nos tempos avaliados (15, 45, 60, 75 e 90 dias).



**Figura 6.** Gráficos dos perfis médios descritos ao longo do tempo, na safra 2014/2015, relacionados à combinação entre cada manejo de irrigação (parcela) e dose de nitrogênio (subparcela) considerados no experimento, para cada variável estudada. A – Gráfico dos perfis médios para a variável Matéria Seca da Parte Aérea; B – Gráfico dos perfis médios para a variável Acúmulo de Nitrogênio; C – Gráfico dos perfis médios para a variável Teor de Nitrogênio; D – Gráfico dos perfis médios para a variável Índice de Área Foliar.

A partir desses dados, foi feita a AMP sobre os perfis médios resultantes da combinação entre cada manejo de irrigação e dose de nitrogênio, para cada uma das variáveis citadas anteriormente, sendo realizados: teste de esfericidade de Mauchly; teste da hipótese de paralelismo dos perfis; teste da hipótese de coincidência dos perfis; e teste da hipótese de horizontalidade dos perfis.

Para o caso das quatro variáveis, o teste de esfericidade de Mauchly foi significativo, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, como pode ser notado na Tabela 12. Dessa forma, a análise dos perfis pode ser realizada por meio da metodologia multivariada. As hipóteses de paralelismo e coincidência não foram rejeitadas para nenhuma variável, pois seus respectivos testes não foram significativos para rejeitar tais hipóteses. No entanto, a hipótese de horizontalidade foi rejeitada para todas as variáveis, uma vez que o seu respectivo teste foi significativo para todas estas. Estes resultados podem ser verificados por meio da Figura 6 e da Tabela 13.

**Tabela 12.** Resultados dos testes de esfericidade de Mauchly para as quatro variáveis (MSPA, AN, TN e IAF) consideradas neste experimento, na safra 2014/2015.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade			
MSPA	AN	TN	IAF
<0,0001	0,0383	0,0017	0,0225

**Tabela 13.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados na safra 2014/2015.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Paralelismo	0,5343	0,6705	0,1922	0,7229
Coincidência	0,5150	0,2949	0,2530	0,1778
Horizontalidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

### 5.1.3.1.2 Contrastes construídos por meio da MANOVA

Para a construção dos contrastes necessários para esta análise, foi realizado o desdobramento da interação entre o fator das parcelas e o fator das subparcelas, de modo que se pudesse obter contrastes entre os perfis médios dentro de cada manejo de irrigação e dentro de cada dose de nitrogênio. Na safra 2014/2015, observou-se que houve testes de contrastes significativos para as quatro variáveis em estudo, os quais serão mencionados a seguir.

Para a variável MSPA, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram nas seguintes conclusões: o perfil médio SL 0 (combinação entre manejo de irrigação SL e dose de nitrogênio 0 kg.ha<sup>-1</sup>) difere estatisticamente do perfil médio SL 150 (combinação entre manejo de irrigação SL e dose de nitrogênio 150 kg.ha<sup>-1</sup>); e o perfil médio SS 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 150. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 14.

**Tabela 14.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável MSPA.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,1149	0,4127	0,2161	0,0083	0,0018

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIL 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 0; e o perfil médio LC 150 difere estatisticamente do perfil médio SL 150. Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 15.

**Tabela 15.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável MSPA.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,5123	0,8302
LAIC x LC	0,2764	0,3974
LAIC x SL	0,8945	0,4839
LAIC x SS	0,0523	0,8769
LAIL x LC	0,5400	0,4114
LAIL x SL	0,8214	0,1433
LAIL x SS	0,0259	0,7843
LC x SL	0,7138	0,0288
LC x SS	0,2369	0,1676
SL x SS	0,0840	0,3201

No caso da variável AN, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram nas seguintes conclusões: o perfil médio LC 0 difere estatisticamente do perfil médio LC 150; o perfil médio SL 0 difere estatisticamente do perfil médio SL 150; e o perfil médio SS 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 150. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 16.

**Tabela 16.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável AN.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,0561	0,0989	0,0487	0,0026	0,0117

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIL 150 difere estatisticamente do perfil médio SL 150; o perfil médio LC 150 difere estatisticamente do perfil médio SL 150; e o perfil médio SL 150 difere estatisticamente do perfil SS 150. Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 17.

**Tabela 17.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável AN.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,8630	0,7393
LAIC x LC	0,8935	0,7434
LAIC x SL	0,8125	0,0574
LAIC x SS	0,9405	0,5036
LAIL x LC	0,9975	0,4802
LAIL x SL	0,4974	0,0127
LAIL x SS	0,6701	0,3403
LC x SL	0,5669	0,0194
LC x SS	0,5824	0,1540
SL x SS	0,3244	0,0271

Quanto à variável TN, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram na seguinte conclusão: todos os contrastes realizados foram significativos, de modo que todos os perfis médios com dose de nitrogênio 0 kg.ha<sup>-1</sup> diferiram estatisticamente dos perfis médios com o mesmo manejo de irrigação e dose de nitrogênio 150 kg.ha<sup>-1</sup>. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 18.

**Tabela 18.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável TN.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,0046	0,0064	0,0165	0,0008	0,0044

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIC 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 0; o perfil médio LAIL 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 0; e o perfil médio SL 150 difere estatisticamente de todos os perfis médios com os quais foi contrastado (LAIC 150, LAIL 150, LC 150 e SS 150). Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 19.

**Tabela 19.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável TN.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,6164	0,6891
LAIC x LC	0,7297	0,0665
LAIC x SL	0,0643	0,0035
LAIC x SS	0,0208	0,0768
LAIL x LC	0,9312	0,4150
LAIL x SL	0,0906	0,0129
LAIL x SS	0,0263	0,4437
LC x SL	0,3378	0,0211
LC x SS	0,0898	0,2952
SL x SS	0,1308	0,0158

Por fim, para a variável IAF, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram na seguinte conclusão: todos os contrastes realizados foram significativos, de modo que todos os perfis médios com dose de nitrogênio 0 kg.ha<sup>-1</sup> diferiram estatisticamente dos perfis médios com o mesmo manejo de irrigação e dose de nitrogênio 150 kg.ha<sup>-1</sup>. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 20.

**Tabela 20.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável IAF.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	<0,0001	0,0014	0,0001	0,0002	0,0006

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio SL 0 difere estatisticamente de todos os perfis médios com os quais foi contrastado (LAIC 0, LAIL 0, LC 0 e SS 0); e o perfil médio SL 150 difere estatisticamente de todos os perfis médios com os quais foi contrastado (LAIC 150, LAIL 150, LC 150 e SS 150). Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 21.

**Tabela 21.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável IAF.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,1831	0,2348
LAIC x LC	0,7689	0,3695
LAIC x SL	0,0030	0,0137
LAIC x SS	0,4284	0,3096
LAIL x LC	0,8143	0,2366
LAIL x SL	0,0214	0,0034
LAIL x SS	0,7666	0,8773
LC x SL	0,0112	0,0133
LC x SS	0,8572	0,1312
SL x SS	0,0040	0,0013

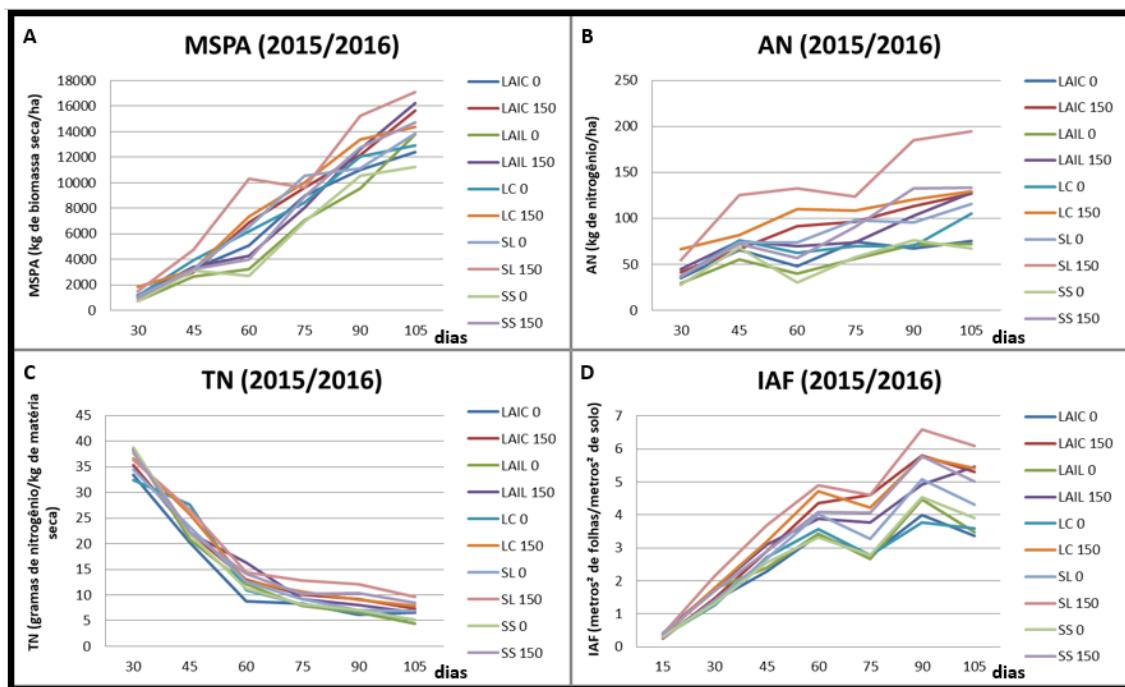
Considerando os contrastes significativos para as quatro variáveis em estudo, observou-se, de modo geral, que, para os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação, o perfil médio SL 0 diferiu estatisticamente nas quatro variáveis do perfil médio SL 150, bem como o perfil médio SS 0 diferiu do perfil médio SS 150. Também destaca-se que o perfil médio LC 0 diferiu estatisticamente do perfil médio LC 150 em três variáveis (AN, TN e IAF). Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, o perfil médio SL 150 apresentou uma maior quantidade de contrastes significativos em todas as variáveis estudadas, tendo diferido em todas estas do perfil médio LC 150.

Além disso, observou-se que o perfil médio SL apresentou, nas quatro variáveis estudadas, um maior destaque ao longo do tempo em relação aos demais perfis médios analisados, de modo que apresentou diferenças estatísticas suficientes para resultar em diversos contrastes significativos, como foi analisado anteriormente. Assim, a partir dos contrastes construídos e analisados, constatou-se que, em todas as variáveis, o perfil médio SL 150 foi superior a todos os demais ao final do experimento, como pode ser observado na Figura 6.

### 5.1.3.2 Safra 2015/2016

#### 5.1.3.2.1 Análise Multivariada de Perfis

Para a safra 2015/2016, a Figura 7 foi construída a partir dos perfis médios obtidos para cada combinação entre manejos de irrigação e doses de nitrogênio em relação às quatro variáveis estudadas neste experimento (MSPA, AN, TN e IAF), ao longo do tempo. Como pode ser observado nas Figuras 7.A, 7.B e 7.C, as variáveis MSPA, AN e TN não foram mensuradas no tempo 15 dias nesta safra devido a impossibilidades técnicas, de forma que as análises destes perfis médios em relação a tais variáveis foram realizadas considerando-se somente os valores mensurados nos demais tempos avaliados. No caso da variável IAF nesta safra, todos os valores dos 7 tempos foram mensurados, como se pode observar na Figura 7.D.



**Figura 7.** Gráficos dos perfis médios descritos ao longo do tempo, na safra 2015/2016, relacionados à combinação entre cada manejo de irrigação (parcela) e dose de nitrogênio (subparcela) considerados no experimento, para cada variável estudada. A – Gráfico dos perfis médios para a variável Matéria Seca da Parte Aérea; B – Gráfico dos perfis médios para a variável Acúmulo de Nitrogênio; C – Gráfico dos perfis médios para a variável Teor de Nitrogênio; D – Gráfico dos perfis médios para a variável Índice de Área Foliar.

A partir desses dados, foi feita a AMP sobre os perfis médios resultantes da combinação entre cada manejo de irrigação e dose de nitrogênio, para cada uma das variáveis citadas anteriormente, sendo realizados: teste de esfericidade de Mauchly; teste da hipótese de paralelismo dos perfis; teste da hipótese de coincidência dos perfis; e teste da hipótese de horizontalidade dos perfis.

O teste de esfericidade de Mauchly foi significativo para as variáveis MSPA, TN e IAF, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, como pode ser notado na Tabela 22. Dessa forma, a análise dos perfis pode ser realizada por meio da metodologia multivariada. Para a variável AN, porém, esse teste não foi significativo, de modo que poderia ser utilizada uma análise univariada. Contudo, como o objetivo do projeto de pesquisa é realizar análises de perfis a partir de uma abordagem multivariada, considerando-se os diversos tempos para mensuração no experimento, e como a não significância do teste de esfericidade de Mauchly não descarta a possibilidade de utilização do método multivariado para a análise de perfis, optou-se por realizar a análise referente a esta variável da mesma forma que foi feita com as outras consideradas no estudo.

As hipóteses de paralelismo e coincidência não foram rejeitadas em nenhuma variável, pois seus respectivos testes não foram significativos para rejeitar tais hipóteses. No entanto, a hipótese de horizontalidade foi rejeitada para todas as variáveis, uma vez que o seu respectivo teste foi significativo em todas estas. Estes resultados podem ser verificados por meio da Figura 7 e da Tabela 23.

**Tabela 22.** Resultados dos testes de esfericidade de Mauchly para as quatro variáveis (MSPA, AN, TN e IAF) consideradas neste experimento, na safra 2015/2016.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade			
MSPA	AN	TN	IAF
<0,0001	0,0784	0,0108	<0,0001

**Tabela 23.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados na safra 2015/2016.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>			
	MSPA	AN	TN	IAF
Paralelismo	0,6357	0,7463	0,4270	0,1634
Coincidência	0,7806	0,1125	0,4289	0,4305
Horizontalidade	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

#### 5.1.3.2.2 Contrastess construídos por meio da MANOVA

Para a construção dos contrastes necessários para esta análise, foi realizado o desdobramento da interação entre o fator das parcelas e o fator das subparcelas, de modo que se pudesse obter contrastes entre os perfis médios dentro de cada manejo de irrigação e dentro de cada dose de nitrogênio. Na safra 2015/2016, observou- se que houve testes de contrastes significativos para as quatro variáveis em estudo, os quais serão mencionados a seguir.

Para a variável MSPA, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram na seguinte conclusão: o perfil médio SL 0 difere estatisticamente do perfil médio SL 150. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 24.

**Tabela 24.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável MSPA.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,4342	0,1709	0,0898	0,0108	0,5368

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIC 150 difere estatisticamente dos perfis médios LC 150 e SL 150; o perfil médio LAIL 150 difere estatisticamente dos perfis médio LC 150 e SL 150; o perfil médio LC 150 difere estatisticamente do perfil médio SS 150; e o perfil médio SL 150 difere estatisticamente do perfil médio SS 150. Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 25.

**Tabela 25.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável MSPA.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,3367	0,4827
LAIC x LC	0,7522	0,0393
LAIC x SL	0,8955	0,0293
LAIC x SS	0,4013	0,2646
LAIL x LC	0,0605	0,0327
LAIL x SL	0,1779	0,0111
LAIL x SS	0,7522	0,9091
LC x SL	0,6630	0,0618
LC x SS	0,0796	0,0094
SL x SS	0,1086	0,0029

No caso da variável AN, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram nas seguintes conclusões: o perfil médio LAIC 0 difere estatisticamente do perfil médio LAIC 150; o perfil médio LC 0 difere estatisticamente do perfil médio LC 150; o perfil médio SL 0 difere estatisticamente do perfil médio SL 150; e o perfil médio SS 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 150. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 26.

**Tabela 26.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável AN.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,0321	0,0674	0,0034	0,0018	0,0275

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio SL 0 difere estatisticamente do perfil médio SS 0; o perfil médio LAIC 150 difere estatisticamente do perfil médio SL 150; o perfil médio LAIL 150 difere estatisticamente dos perfis médios LC 150 e SL 150; o perfil médio LC 150 difere estatisticamente do perfil médio SS 150; e o perfil médio SL 150 difere

estatisticamente do perfil médio SS 150. Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 27.

**Tabela 27.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável AN.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,8514	0,6969
LAIC x LC	0,7132	0,0685
LAIC x SL	0,2860	0,0071
LAIC x SS	0,7470	0,4388
LAIL x LC	0,4729	0,0280
LAIL x SL	0,0963	0,0028
LAIL x SS	0,8713	0,4930
LC x SL	0,5385	0,0556
LC x SS	0,2289	0,0085
SL x SS	0,0451	0,0020

Quanto à variável TN, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram na seguinte conclusão: todos os contrastes realizados foram significativos, de modo que todos os perfis médios com dose de nitrogênio 0 kg.ha<sup>-1</sup> diferiram estatisticamente dos perfis médios com o mesmo manejo de irrigação e dose de nitrogênio 150 kg.ha<sup>-1</sup>. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 28.

**Tabela 28.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável TN.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,0003	0,0447	0,0013	<0,0001	0,0023

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foram obtidas as seguintes conclusões: o perfil médio LAIC 0 difere estatisticamente de todos os perfis médios com os quais foi contrastado (LAIL 0, LC 0, SL 0 e SS 0); o perfil médio LAIL 150 difere dos perfis médios LC 150 e SS 150; e o perfil médio SL 150 difere estatisticamente de todos os perfis médios

com os quais foi contrastado (LAIC 150, LAIL 150, LC 150 e SS 150). Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 29.

**Tabela 29.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável TN.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,0397	0,2393
LAIC x LC	0,0239	0,2812
LAIC x SL	0,0405	<0,0001
LAIC x SS	0,0138	0,4854
LAIL x LC	0,0843	0,0144
LAIL x SL	0,2689	<0,0001
LAIL x SS	0,7765	0,0438
LC x SL	0,5009	0,0007
LC x SS	0,1074	0,4911
SL x SS	0,3335	0,0004

Por fim, para a variável IAF, os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação resultaram na seguinte conclusão: o perfil médio LAIC 0 difere estatisticamente do perfil médio LAIC 150; o perfil médio LAIL 0 difere estatisticamente do perfil médio LAIL 150; o perfil médio LC 0 difere estatisticamente do perfil médio LC 150; e o perfil médio SL 0 difere estatisticamente do perfil médio SL 150. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 30.

**Tabela 30.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada manejo de irrigação (parcela) para a variável IAF.

Contrastes	Manejos de irrigação (parcelas)				
	LAIC	LAIL	LC	SL	SS
0 x 150	0,0053	0,0031	0,0360	0,0006	0,1318

Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, foi obtida a seguinte conclusão: o perfil médio SL 150 difere estatisticamente dos perfis médios LAIC 150, LAIL 150 e SS 150. Todos os outros contrastes realizados não foram significativos. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 31.

**Tabela 31.** Resultados do desdobramento da interação dentro de cada dose de nitrogênio (subparcela) para a variável IAF.

Contrastes	Doses de nitrogênio (subparcelas)	
	0 kg.ha <sup>-1</sup>	150 kg.ha <sup>-1</sup>
LAIC x LAIL	0,7461	0,1171
LAIC x LC	0,0867	0,3005
LAIC x SL	0,1428	0,0039
LAIC x SS	0,1723	0,4427
LAIL x LC	0,0505	0,7877
LAIL x SL	0,0859	0,0327
LAIL x SS	0,083	0,5838
LC x SL	0,2860	0,0552
LC x SS	0,6903	0,7408
SL x SS	0,8209	0,0107

Considerando os contrastes significativos para as quatro variáveis em estudo, observou-se, de modo geral, que, para os contrastes realizados dentro de cada manejo de irrigação, o perfil médio SL 0 diferiu estatisticamente nas quatro variáveis do perfil médio SL 150. Também destaca-se que o perfil médio LAIC 0 diferiu estatisticamente do perfil médio LAIC 150 em três variáveis (AN, TN e IAF), bem como o perfil médio LC 0 diferiu estatisticamente do perfil médio LC 150 nas mesmas variáveis. Quanto aos contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, o perfil médio SL 150 apresentou uma maior quantidade de contrastes significativos em todas as variáveis estudadas, tendo diferido em todas estas dos perfis médios LAIC 150, LAIL 150 e SS 150.

Além disso, observou-se que o perfil médio SL apresentou, nas quatro variáveis estudadas, um maior destaque ao longo do tempo em relação aos demais perfis médios analisados, de modo que apresentou diferenças estatísticas suficientes para resultar em diversos contrastes significativos, como foi analisado anteriormente. Assim, a partir dos contrastes construídos e analisados, constatou-se que, em todas as variáveis, o perfil médio SL 150 foi superior a todos os demais ao final do experimento, como pode ser observado na Figura 7.

#### **5.1.4 *Interpretação dos resultados obtidos e conclusões***

Com base nos resultados obtidos para os dois conjuntos de análises realizados, observou-se que o efeito da adubação (aplicação das diferentes doses de nitrogênio) foi mais marcante do que o efeito dos manejos de irrigação, de modo que seus perfis médios apresentaram maiores diferenças estatísticas entre si. Como o nitrogênio interfere no desenvolvimento da planta, a sua disponibilidade é o que, de fato, altera os perfis médios de acordo com os parâmetros avaliados.

Nos tratamentos aplicados, nenhuma planta foi submetida a condições de estresse por seca, de forma que tivessem plena utilização de água. Dessa forma, o efeito dos manejos de irrigação que caracterizou as diferenças observadas para os perfis médios de tratamentos está relacionado com a disponibilidade de nitrogênio no solo. Com base nisto, a irrigação foi capaz de interferir no nitrogênio disponível no solo, mas de forma mais amena do que as doses de adubação interferiram, causando diferenças sutis na disponibilidade do nitrogênio para cada tratamento utilizado. Desse modo, o manejo de irrigação SL proporcionou maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas, uma vez que os perfis médios descritos por este tratamento tenderam a se diferenciar mais dos outros perfis observados.

Assim, as análises mostraram que, para os perfis médios descritos pelas doses de nitrogênio, a dose de 150 kg.ha<sup>-1</sup> se mostrou superior. Quanto aos perfis médios descritos pelos manejos de irrigação, o tratamento SL se mostrou superior aos outros.

As análises dos perfis médios obtidos a partir da combinação entre cada manejo de irrigação e nível de nitrogênio mostraram que, em ambas as safras e para as quatro variáveis em estudo, as hipóteses de paralelismo e coincidência não foram rejeitadas, de modo que os perfis são paralelos e coincidentes entre si, enquanto a hipótese de horizontalidade foi rejeitada, indicando que os mesmos perfis médios em todas estas condições não foram horizontais. Esses resultados indicam que não houve interação entre os fatores que definem os tratamentos e os tempos mensurados para cada variável estudada (interação entre tratamento e tempo é nula), de forma que a variação nos valores médios das variáveis mensuradas ao longo do tempo ocorreu de forma estatisticamente constante, tornando os perfis médios paralelos entre si.

Também observa-se que não houve efeito de tratamento (efeito nulo de tratamento), fazendo com que os perfis médios coincidissem ao longo do tempo. Por fim, verificou-se que houve efeito de tempo, o que mostra que a variação das variáveis medidas para cada tratamento ao longo do tempo de estudo não foi estatisticamente nula e, consequentemente, os perfis médios não foram paralelos ao eixo das abscissas (tempo), o que justifica o fato dos mesmos não serem horizontais.

Quanto aos contrastes construídos dentro de cada manejo de irrigação, no desdobramento da interação, notou-se que, em ambas as safras e para as quatro variáveis em estudo, o perfil médio SL 0 diferiu estatisticamente do perfil médio SL 150. Para os contrastes realizados dentro de cada dose de nitrogênio, no desdobramento da interação, o perfil médio SL 150, também em ambas as safras, apresentou uma maior quantidade de contrastes significativos em todas as variáveis em estudo, sendo que, na safra 2014/2015, diferiu estatisticamente em todas as variáveis do perfil médio LC 150, enquanto na safra 2015/2016 diferiu estatisticamente dos perfis médios LAIC 150, LAIL 150 e SS 150 para todas as variáveis.

Estes resultados mostraram o destaque do perfil médio SL 150 ao longo do tempo em relação aos demais perfis médios presentes no estudo, constatando-se que o mesmo foi superior em valores a todos os demais ao final do experimento, em ambas as safras e para todas as variáveis estudadas. As características deste perfil médio contribuíram para os diversos contrastes significativos obtidos que envolvem o mesmo, de modo que o perfil médio SL 150 foi superior a todos os demais ao final do experimento.

## 5.2 Análises referentes ao experimento com a cultura de cacau

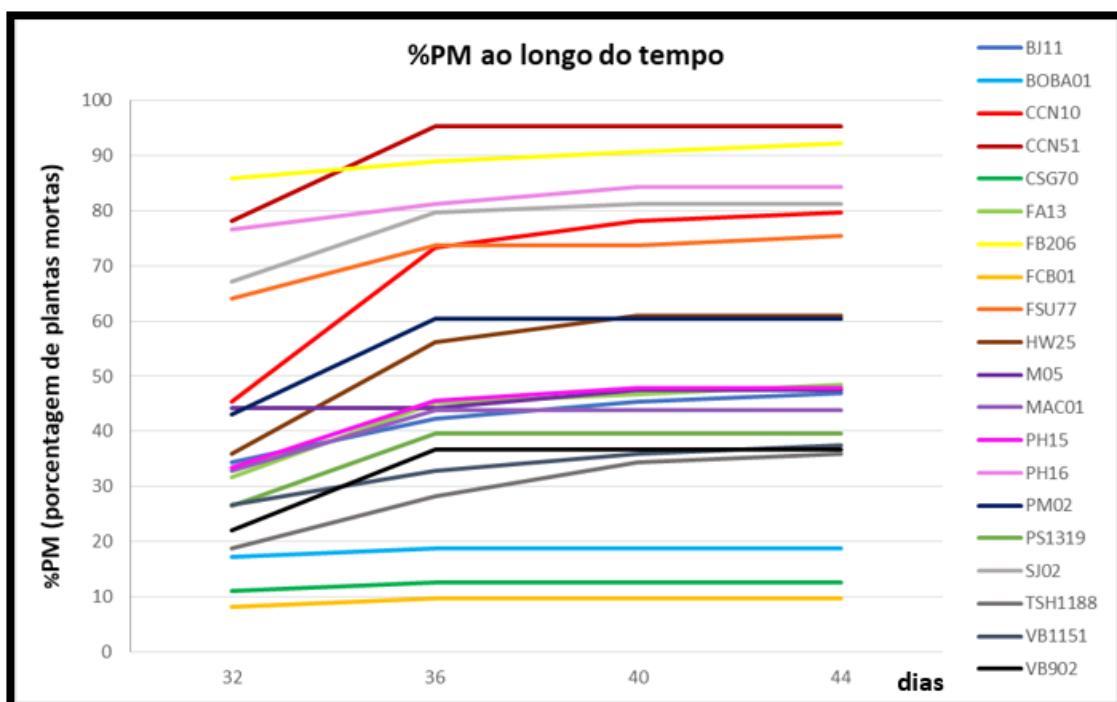
A seguir, serão discutidos os resultados das análises referentes ao experimento com a cultura de cacau, em que foram comparados os perfis médios de 20 progêneres de cacau em relação à variável porcentagem de mudas mortas (%PM), ao longo do tempo. Para facilitar as referências a cada um dos perfis médios estudados, estes serão denominados por meio do nome de cada uma das progêneres consideradas neste estudo (BJ11, BOBA01, CCN10, CCN51, CSG70, FA13, FB206, FCB01, FSU77, HW25, M05, MAC01, PH15, PH16, PM02, PS1319, SJ02, TSH1188, VB1151 e VB902).

Como dito anteriormente, as análises estatísticas tiveram o objetivo de verificar se havia diferenças estatisticamente significantes entre os perfis médios descritos pelos genótipos de cacau resistentes e suscetíveis à doença da “murcha-do-Ceratocystis”, ao longo do tempo. Para isso, da mesma forma que o experimento com a cultura do arroz, foi realizado o teste de esfericidade de Mauchly e o teste das hipóteses referentes à Análise Multivariada de Perfis (paralelismo, coincidência e horizontalidade), além da construção de contrastes pela MANOVA para a verificação de quais perfis médios se diferenciam estatisticamente um do outro. Todos os testes mencionados foram realizados ao nível 5% de significância.

Nas Tabelas apresentadas, somente o resultado do teste estatístico por Lambda de Wilks foi representado, uma vez que este é mais robusto que os demais. Todos estes procedimentos também foram realizados por meio do *proc GLM* do software SAS. No Apêndice, o item E ilustra um exemplo de programação utilizada para a realização das análises referentes a este conjunto de dados.

### 5.2.1 Análise Multivariada de Perfis

Para este experimento, a Figura 8 foi construída a partir dos perfis médios obtidos para cada progénie de cacau em relação à variável porcentagem de mudas mortas (%PM) ao longo do tempo. Como pode ser observado na Figura 8, a variável em estudo foi mensurada em quatro tempos: 32, 36, 40 e 44 dias após a inoculação do patógeno nas plantas.



**Figura 8.** Gráfico dos perfis médios descritos ao longo do tempo por progénies de cacau em relação à porcentagem de mudas mortas (%PM), de acordo com maior ou meno resistência e suscetibilidade à doença da “murcha-do-Ceratocystis”.

A partir desses dados, foi feita a AMP sobre os perfis médios das progêneres de cacau em relação à variável %PM, sendo realizados: teste de esfericidade de Mauchly; teste da hipótese de paralelismo dos perfis; teste da hipótese de coincidência dos perfis; e teste da hipótese de horizontalidade dos perfis.

O teste de esfericidade de Mauchly foi significativo, o que indica que a condição de H-F não foi satisfeita, como pode ser notado na Tabela 32. Dessa forma, a análise dos perfis pode ser realizada por meio da metodologia multivariada. A hipótese de paralelismo não foi rejeitada, pois seu respectivo teste não foi significativo para rejeitar tal hipótese. No entanto, as hipóteses de coincidência e horizontalidade foram rejeitadas, uma vez que os seus respectivos testes foram significativos. Estes resultados podem ser verificados por meio da Figura 8 e da Tabela 33.

**Tabela 32.** Resultado dos testes de esfericidade de Mauchly para o experimento com as progêneres de cacau.

Valor- <i>p</i> do teste de esfericidade
<0,0001

**Tabela 33.** Resultados dos testes para as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade dos perfis médios estudados.

Hipóteses	Valor- <i>p</i>
Paralelismo	0,0734
Coincidência	<0,0001
Horizontalidade	<0,0001

### 5.2.2 *Contrastes construídos por meio da MANOVA*

Todos os resultados a serem discutidos neste tópico podem ser verificados na Tabela 34. A partir dos contrastes realizados, foram obtidas as seguintes conclusões:

O perfil médio da progênies BJ11 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies CCN10, CCN51, FB206, FCB01, FSU77, PH16 e SJ02; o perfil médio da progênies BOBA01 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies CCN10, CCN51, FB206, FSU77, HW25, PH16, PM02 e SJ02; o perfil médio da progênies CCN10 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies CCN51, CSG70, FB206, FCB01, FSU77, M05, MAC01, PH15, PH16, PS1319, TSH1188, VB1151 e VB902; o perfil médio da progênies CCN51 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies CSG70, FA13, FCB01, HW25, M05, MAC01, PH15, PM02, PS1319, TSH1188, VB1151 e VB902; o perfil médio da progênies CSG70 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies FA13, FB206, FSU77, HW25, PH16, PM02 e SJ02.

O perfil médio da progênies FA13 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies FB206, FCB01, PH16 e SJ02; o perfil médio da progênies FB206 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies FCB01, HW25, M05, MAC01, PH15, PM02, PS1319, TSH1188, VB1151 e VB902; o perfil médio da progênies FCB01 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies FSU77, HW25, M05, PH15, PH16, PM02, SJ02 e TSH1188; o perfil médio da progênies FSU77 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies HW25, M05, MAC01, PH15, PS1319, TSH1188, VB1151 e VB902; o perfil médio da progênies HW25 difere estatisticamente do perfil médio da progênies PH16; o perfil médio da progênies M05 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies PH16 e SJ02; o perfil médio da progênies MAC01 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies PH16 e SJ02.

O perfil médio da progênies PH15 difere estatisticamente do perfil médio da progênies PH16; o perfil médio da progênies PH16 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies PM02, PS1319, TSH1188, VB1151 e VB902; o perfil médio da progênies PM02 difere estatisticamente do perfil médio da progênies TSH1188; o perfil médio da progênies PS1319 difere estatisticamente do perfil médio da progênies SJ02; e o perfil médio da progênies SJ02 difere estatisticamente dos perfis médios das progênies TSH1188, VB1151 e VB902. Todos os outros contrastes realizados não foram significativos.

**Tabela 34.** Resultados dos contrastes construídos para os perfis médios descritos pelas progênieis de cacau para a variável %PM.

Contrastes	Valor- <i>p</i>	Contrastes	Valor- <i>p</i>	Contrastes	Valor- <i>p</i>	Contrastes	Valor- <i>p</i>	Contrastes	Valor- <i>p</i>
BJ11 x BOBA01	0,1469	CCN10 x CSG70	<0,0001	CSG70 x MAC01	0,1157	FCB01 x M05	0,0292	M05 x VB1151	0,4996
BJ11 x CCN10	0,0208	CCN10 x FA13	0,0552	CSG70 x PH15	0,0625	FCB01 x MAC01	0,0709	M05 x VB902	0,1419
BJ11 x CCN51	0,0004	CCN10 x FB206	0,0009	CSG70 x PH16	<0,0001	FCB01 x PH15	0,0380	MAC01 x PH15	0,9158
BJ11 x CSG70	0,0608	CCN10 x FCB01	<0,0001	CSG70 x PM02	0,0026	FCB01 x PH16	<0,0001	MAC01 x PH16	0,0079
BJ11 x FA13	0,9074	CCN10 x FSU77	0,0220	CSG70 x PS1319	0,1788	FCB01 x PM02	0,0013	MAC01 x PM02	0,6674
BJ11 x FB206	0,0010	CCN10 x HW25	0,3915	CSG70 x SJ02	<0,0001	FCB01 x PS1319	0,1206	MAC01 x PS1319	0,9882
BJ11 x FCB01	0,0371	CCN10 x M05	0,0023	CSG70 x TSH1188	0,0568	FCB01 x SJ02	<0,0001	MAC01 x SJ02	0,0428
BJ11 x FSU77	0,0462	CCN10 x MAC01	0,0116	CSG70 x VB1151	0,2175	FCB01 x TSH1188	0,0457	MAC01 x TSH1188	0,0603
BJ11 x HW25	0,2043	CCN10 x PH15	0,0437	CSG70 x VB902	0,2122	FCB01 x VB1151	0,1556	MAC01 x VB1151	0,4268
BJ11 x M05	0,6366	CCN10 x PH16	0,0095	FA13 x FB206	0,0008	FCB01 x VB902	0,1529	MAC01 x VB902	0,9206
BJ11 x MAC01	0,5491	CCN10 x PM02	0,1294	FA13 x FCB01	0,0219	FSU77 x HW25	0,0092	PH15 x PH16	0,0127
BJ11 x PH15	0,7275	CCN10 x PS1319	0,0089	FA13 x FSU77	0,0792	FSU77 x M05	0,0286	PH15 x PM02	0,5930
BJ11 x PH16	0,0108	CCN10 x SJ02	0,0767	FA13 x HW25	0,2496	FSU77 x MAC01	0,0412	PH15 x PS1319	0,8831
BJ11 x PM02	0,1913	CCN10 x TSH1188	0,0026	FA13 x M05	0,2552	FSU77 x PH15	0,0272	PH15 x SJ02	0,0533
BJ11 x PS1319	0,4538	CCN10 x VB1151	0,0037	FA13 x MAC01	0,7066	FSU77 x PH16	0,3423	PH15 x TSH1188	0,2061
BJ11 x SJ02	0,0235	CCN10 x VB902	0,0065	FA13 x PH15	0,7332	FSU77 x PM02	0,1896	PH15 x VB1151	0,5569
BJ11 x TSH1188	0,4315	CCN51 x CSG70	<0,0001	FA13 x PH16	0,0068	FSU77 x PS1319	0,0127	PH15 x VB902	0,7929
BJ11 x VB1151	0,9530	CCN51 x FA13	0,0010	FA13 x PM02	0,4332	FSU77 x SJ02	0,5761	PH16 x PM02	0,0481
BJ11 x VB902	0,3504	CCN51 x FB206	0,2118	FA13 x PS1319	0,6571	FSU77 x TSH1188	0,0002	PH16 x PS1319	0,0018
BOBA01 x CCN10	<0,0001	CCN51 x FCB01	<0,0001	FA13 x SJ02	0,0332	FSU77 x VB1151	0,0069	PH16 x SJ02	0,7810
BOBA01 x CCN51	<0,0001	CCN51 x FSU77	0,2415	FA13 x TSH1188	0,1886	FSU77 x VB902	0,0050	PH16 x TSH1188	0,0001
BOBA01 x CSG70	0,9875	CCN51 x HW25	0,0022	FA13 x VB1151	0,7083	HW25 x M05	0,0785	PH16 x VB1151	0,0013
BOBA01 x FA13	0,0914	CCN51 x M05	0,0005	FA13 x VB902	0,5604	HW25 x MAC01	0,2006	PH16 x VB902	0,0006
BOBA01 x FB206	<0,0001	CCN51 x MAC01	0,0013	FB206 x FCB01	<0,0001	HW25 x PH15	0,6026	PM02 x PS1319	0,5068
BOBA01 x FCB01	0,9491	CCN51 x PH15	0,0012	FB206 x FSU77	0,4307	HW25 x PH16	0,0101	PM02 x SJ02	0,3428
BOBA01 x FSU77	0,0002	CCN51 x PH16	0,2778	FB206 x HW25	0,0002	HW25 x PM02	0,3553	PM02 x TSH1188	0,0065
BOBA01 x HW25	0,0038	CCN51 x PM02	0,0469	FB206 x M05	0,0021	HW25 x PS1319	0,1993	PM02 x VB1151	0,0622
BOBA01 x M05	0,1471	CCN51 x PS1319	0,0004	FB206 x MAC01	0,0004	HW25 x SJ02	0,0568	PM02 x VB902	0,3648
BOBA01 x MAC01	0,2722	CCN51 x SJ02	0,6556	FB206 x PH15	0,0004	HW25 x TSH1188	0,0890	PS1319 x SJ02	0,0138
BOBA01 x PH15	0,1518	CCN51 x TSH1188	<0,0001	FB206 x PH16	0,5545	HW25 x VB1151	0,0889	PS1319 x TSH1188	0,0842
BOBA01 x PH16	<0,0001	CCN51 x VB1151	<0,0001	FB206 x PM02	0,0042	HW25 x VB902	0,1741	PS1319 x VB1151	0,4262
BOBA01 x PM02	0,0099	CCN51 x VB902	0,0001	FB206 x PS1319	<0,0001	M05 x MAC01	0,3992	PS1319 x VB902	0,9971
BOBA01 x PS1319	0,3427	CSG70 x FA13	0,0364	FB206 x SJ02	0,2542	M05 x PH15	0,5272	SJ02 x TSH1188	0,0002
BOBA01 x SJ02	0,0001	CSG70 x FB206	<0,0001	FB206 x TSH1188	<0,0001	M05 x PH16	0,0418	SJ02 x VB1151	0,0030
BOBA01 x TSH1188	0,0762	CSG70 x FCB01	0,9993	FB206 x VB1151	<0,0001	M05 x PM02	0,1020	SJ02 x VB902	0,0056
BOBA01 x VB1151	0,3695	CSG70 x FSU77	<0,0001	FB206 x VB902	<0,0001	M05 x PS1319	0,2362	TSH1188 x VB1151	0,6693
BOBA01 x VB902	0,3558	CSG70 x HW25	0,0013	FCB01 x FSU77	<0,0001	M05 x SJ02	0,0360	TSH1188 x VB902	0,0931
CCN10 x CCN51	0,0157	CSG70 x M05	0,0517	FCB01 x HW25	0,0008	M05 x TSH1188	0,1162	VB1151 x VB902	0,3784

Considerando os contrastes significativos para a variável em estudo, observou-se, de modo geral, que o perfil médio da progénie CCN51 apresentou maiores valores de porcentagem de mudas mortas (%PM) ao longo do tempo neste experimento, o que mostra a sua maior suscetibilidade à doença da “murcha-do-Ceratocystis”. Além disso, foi observado que o perfil médio da progénie FCB01 apresentou menores valores de %PM ao longo do tempo neste experimento, indicando a sua maior resistência à doença. Estas observações podem ser verificadas na Figura 8.

### **5.2.3 Interpretação dos resultados obtidos e conclusões**

Para o experimento com a cultura de cacau, foi observado que a hipótese de paralelismo não foi rejeitada, de modo que os perfis são paralelos entre si, enquanto as hipóteses de coincidência e horizontalidade foram rejeitadas, indicando que os mesmos perfis médios não foram coincidentes e horizontais. Esses resultados indicam que não houve interação entre o tratamento e os tempos mensurados (interação entre tratamento e tempo é nula), de forma que a variação da variável medida ao longo do tempo ocorreu de forma estatisticamente constante, tornando os perfis médios paralelos entre si. Também observa-se que houve efeito de tratamento, fazendo com que os perfis médios não coincidissem ao longo do tempo. Por fim, verificou-se que houve efeito de tempo, o que mostra que a variação da variável medida para cada tratamento ao longo do tempo de estudo não foi estatisticamente nula e, consequentemente, os perfis médios não foram paralelos ao eixo das abscissas, o que justifica o fato dos mesmos não serem horizontais.

Quanto aos contrastes construídos para este experimento, notou-se que o perfil médio da progénie CCN51 apresentou maiores valores em relação à variável medida ao longo do tempo, de modo que houve uma maior porcentagem de mortes de plantas nesta progénie, o que mostra a sua maior suscetibilidade à doença da “murcha-do-Ceratocystis”. Verificou-se que este perfil médio não se diferenciou estatisticamente dos perfis médios da progénies FB206, FSU77, PH16 e SJ02.

Além disso, foi observado que o perfil médio da progénie FCB01 apresentou menores valores em relação à variável medida ao longo do tempo, de forma que houve uma menor porcentagem de mortes de plantas nesta progénie, o que mostra a sua maior resistência à doença. Também foi verificado que este perfil médio não se diferenciou estatisticamente dos perfis médios das progénies BOBA01, CSG70, MAC01, PS1319, VB1151 e VB902.

## 6. Considerações finais sobre as análises estatísticas realizadas

Com base em informações presentes na literatura específica, é evidenciado que a análise estatística conhecida como Análise Multivariada de Perfis é pouco utilizada pelos pesquisadores devido a uma falta de familiaridade com os procedimentos estatísticos apropriados para a realização e desenvolvimento dessas análises (KIEFFER & HALEY, 2002; KHATTREE & NAIK, 2003; LEE & GILMORE, 2006; PINTO et al., 2013). Apesar disso, a AMP constitui uma ferramenta analítica muito eficaz para situações em que a condição de Huynh – Feldt não é atendida. Assim, tais abordagens baseadas em perfis permitem uma melhor exploração das interações entre tratamentos e tempos, além de fornecer parâmetros adicionais de significância biológica (PINTO et al., 2013).

A partir das análises realizadas neste projeto de pesquisa, foi possível observar a versatilidade da utilização da AMP para dados de medidas repetidas ao longo do tempo. Dessa forma, foi possível testar as hipóteses de paralelismo, coincidência e horizontalidade para dois experimentos distintos, apresentando diferenças não somente quanto às culturas envolvidas em cada um destes, mas também nos delineamentos experimentais utilizados, tipos e quantidades de variáveis respostas avaliadas, e os objetivos de cada estudo. Assim, do ponto de vista estatístico, evidencia-se a importância de se promover o conhecimento a respeito dos procedimentos estatísticos apropriados envolvidos na Análise Multivariada de Perfis, de modo que os pesquisadores possam ampliar seus conhecimentos a respeito desta técnica e a utilizarem com uma maior frequência para a análise de dados de medidas repetidas ao longo do tempo.

## 7. Referências bibliográficas

1. AMARAL, S.S.W.G. Análise estatística de dados de medidas repetidas provenientes de um experimento para avaliar a qualidade pós-colheita de banana Prata – Anã. XXV Semana Acadêmica da Matemática, Cascavel, Paraná, p. 31-37, 2011.
2. ANTON, H.; RORRES, C. Álgebra linear com aplicações. Bookman, Porto Alegre, 2004.
3. BELDER, P.; BOUMAN, B.M.A; SPIERTZ, J.H.J. Exploring options for water savings in lowland rice using a modelling approach. *Agricultural Systems*, v. 92, p. 91-114, 2007.
4. BELDER, P.; SPIERTZ, J.H.J.; BOUMAN, B.A.M.; LU, G.; TUONG, T.P. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crops Research*, v. 93, p. 169–185, 2005.
5. BOUMAN, B.A.M.; PENG, S.; CASTAÑEDA, A.R.; VISPERAS, R.M. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, v. 74, p. 87–105, 2005.
6. BOX, G.E.P. Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems I. Effects of inequality of variance in the one-way classification. *The Annals of the Mathematical Statistics*, v. 25, p. 290-302, 1954.
7. BOX, G.E.P. Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems II. Effects of inequality of variance and of correlation between errors in the two-way classification. *The Annals of the Mathematical Statistics*, v. 25, p. 484-498, 1954.
8. CROWDER, M.J.; HAND, D.J. *Analysis of repeated measures*. London: Chapman & Hall, 1990. 256p.
9. DIAS, C.T.S. *Estatística multivariada por meio do SAS*. Piracicaba: ESALQ, 2015. 111p.
10. DIGGLE, P.J. An approach to the analysis of repeated measurements. *Biometrics*, v.44, p.959-971, 1988.
11. FAO, Ifad. WFP (2014). *The state of food insecurity in the world*, p. 12, 2014
12. FARAWAY, J.J. *Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models*. New York: Chapman & Hall/CRC, 2006. 331 p.
13. FERNANDEZ, G.C.J. Repeated measure analysis of line-source sprinkler experiments. *HortScience*, v. 26, n. 4, p. 339-342, 1991.
14. FERREIRA, W.L. *Análise de dados com medidas repetidas em experimento com ingestão de café*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012. 108 p.
15. FREITAS, E.G.; BARBIN, D.; BARBOSA, G.V.S.; CARNEIRO, M.S.; BASSINELLO, A.I. Modelo univariado aplicado a dados longitudinais. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 26, n. 2, p. 93-106, 2008.
16. GABRIEL, K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.
17. GEISSER, J. GREENHOUSE, S.W. An extension of Box's results on the use of the F distribution in multivariate analysis. *The Annals of the Mathematical Statistics*, v. 29, p. 855-891, 1958.
18. 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.
19. HUYNH, H.; FELDT, L.S. Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data in the randomized block and split-plot designs. *Journal of EducationalStatistics*, v. 1, n. 1, p. 69-82, 1976.
20. HUYNH, H.; FELDT, L.S. Some approximate tests for repeated measurement designs. *Psychometrika*, v. 43, n. 2, p. 161-175, 1978.
21. JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. *Applied multivariate statistical analysis*. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.
22. KETELAERE, B.; LAMMERTYN, J.; MOLENBERGHS, G.; NICOLAÏ, B.; De BAERDEMAEKER, J. Statistical models for analyzing repeated quality measurements of horticultural products. Model evaluations and practical example. *Mathematical Biosciences*, v.185, n. 2, p. 169-189, 2003.
23. KHATTREE, R.; NAIK, D.N. *Applied multivariate statistics with SAS software*. 2 ed. SAS Institute, Cary, NC, 2003.
24. KIEFFER, K.M.; HALEY, J.A. On analyzing repeated measures designs with both univariate and multivariate methods: a primer with examples. *Multiple Linear Regression Viewpoints*, v. 28, p. 1-17, 2002.

25. LEE, K.M.; GILMORE, D.F. Statistical experimental design for bioprocess modeling and optimization analysis: repeated-measures method for dynamic biotechnology process. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 135, p. 101-115, 2006.
26. LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; AMMERMAN, C.B.A. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 1216-1231.
27. MANLY, B. **Métodos Estatísticos Multivariados: uma introdução**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 230p.
28. MAUCHLY, J.W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 11, p. 204-209, 1940.
29. MILLIKEN, G.A.; JOHNSON, D.E. **Analysis of messy data v.1: designed experiments**. New York: Chapman & Hall, 1992, 473p.
30. MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1990. 415p.
31. NOBRE, J.S.; SINGER, J.M. Residuals analysis for linear mixed models. **Biometrical Journal**, v. 49, n. 6, p. 863-875, 2007.
32. PINTO, L.R.; M. SANCHES, S.L.G.; DIAS, C.T.S.; LOGUERCIO, L.L. Advantages of multivariate analysis of profiles for studies with temporal variation of treatment effects in plants. **International Journal of Plant Sciences**, v. 174, n. 1, p. 85-96, 2013.
33. POSTEL, S. **Last Oasis: Facing Water Scarcity**. New York: Norton and Company, 1997. 239 p.
34. RUBIN, D.N. Inference and missing data. **Biometrika**, v. 63, n. 3, p. 581-592, 1976.
35. RUBIN, D.N. **Multiple imputation for nonresponse in surveys**. New York: J. Wiley & Sons, 1987. 258 p.
36. SANTOS, M.P. **Análise de dados com medidas repetidas utilizada no estudo do desempenho escolar no ensino fundamental**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2014. 45 p.
37. SAS Institute Inc., SAS/STAT® User's Guide, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2001.
38. SAS - Statistical Analysis System – v. 9.3. Institute Inc., Cary, NC, USA. 2002-2010.
39. SILVA, M.J.C. **Imputação múltipla: comparação e eficiência em experimentos multiambientais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012. 123p.
40. SILVA, S.D.V.M.; PINTO, L.R.M.; OLIVEIRA, B.F.; DAMACENO, V.O.; PIRES, J.L.; DIAS, C.T.S. Resistance of progenies of cacao to *Ceratocystis* wilt. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 3, p. 191- 195, 2012.
41. SINGER, J.M.; ANDRADE, D.F. **Análise de dados longitudinais**. In: VII Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, Campinas, São Paulo, 1986. 106p.
42. STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 48p. – (Documentos/Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 176).
43. TUONG, T.P., BOUMAN, B.A.M. Rice production in water-scarce environments. In: KIJNE, J.W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. **Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement**. UK: CABI Publishing, p. 53–67, 2003.
44. VIEIRA, F.T.P.A.; SILVA, J.A.A; FERREIRA, R.L.C.; CRUZ, M.A.O.M; FERRAZ, I. Uma abordagem multivariada em experimentos silvipastorais com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit no Agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 333-342, 2007.
45. VONESH, F.E.; CHINCHILLI, V.M. **Linear and nonlinear models for the analysis of repeated measurements**. New York: Marcel Dekker, Inc. 1997. 560p.
46. XAVIER, L. H. **Modelos univariado e multivariado para análise de medidas repetidas e verificação da acurácia do modelo univariado por meio de simulação**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000. 92p.
47. XAVIER, L.H.; DIAS, C.T.S. Acurácia do modelo univariado para análise de medidas repetidas por simulação multidimensional. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 375-380, 2001.
48. WOLFINGER, R.; CHANG, M. **Comparing the SAS GLM and MIXED procedures for repeated measures**. SAS Institute Inc. Cary, NC. [www.sas.com/usergroups](http://www.sas.com/usergroups). (1999).

# APÊNDICE

**Exemplos de programações utilizadas para a realização  
das análises estatísticas descritas**

**A:** exemplo de programação utilizada para a realização da imputação múltipla de dados no experimento com a cultura de arroz.

```

data IMPUT;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X     W     -     0.39   .     2.19   .     2.65   4.27   3.93
X     Z     -     0.31   .     2.66   .     3.2    4.45   2.62
Y     W     -     _____
Y     Z     -     _____
;
proc means data=IMPUT;
run;
proc mi data=IMPUT seed=0 mu0=m1 m2 m3 m4 m5 m6 m7 out=outmi;
mcmc;
var T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7;
run;
proc print data=outmi;
run;

```

**B:** exemplo de programação utilizada para a realização do primeiro conjunto de análises no experimento com a cultura de arroz.

### B.1 – Análise multivariada de perfis

```

data DADOS;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X     W     -     0.3    1.43   2.52   3.55   2.85   4.37   3.72
X     Z     -     0.35   1.77   3.15   4.39   4.25   5.77   5.46
Y     W     -     _____
Y     Z     -     _____
;
proc glm data=DADOS;
class SUBP;
model T1-T7=SUBP/nouni;
repeated tempo 7 (t.1 t.2 t.3 t.4 t.5 t.6 t.7) polynomial/summary printe;
run;

```

### B.2 – Construção de contrastes pela MANOVA

```

data DADOS;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X     W     -     0.3    1.43   2.52   3.55   2.85   4.37   3.72
X     Z     -     0.35   1.77   3.15   4.39   4.25   5.77   5.46
Y     W     -     _____
Y     Z     -     _____
;
proc glm data=DADOS;
class BLOCO PARC SUBP;
model T1-T7=BLOCO BLOCO*PARC PARC SUBP PARC*SUBP/nouni;
contrast "W vs Z" SUBP 1 -1;
manova h=SUBP/printe printh;
run;

```

**C:** exemplo de programação utilizada para a realização do segundo conjunto de análises no experimento com a cultura de arroz.

### C.1 – Análise multivariada de perfis

```

data DADOS;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X    W    -    0.27    1.44    2.59    3.87    3.68    4.9    4.33
X    Z    -    0.35    1.77    2.74    3.66    3.22    4.69    4.47
Y    W    -    _____
Y    Z    -    _____
;
;

proc glm data=DADOS;
class PARC;
model T1-T7=PARC/nouni;
repeated tempo 7 (t.1 t.2 t.3 t.4 t.5 t.6 t.7) polynomial/summary printe;
run;

```

### C.2 – Construção de contrastes pela MANOVA

```

data DADOS;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X    W    -    0.27    1.44    2.59    3.87    3.68    4.9    4.33
X    Z    -    0.35    1.77    2.74    3.66    3.22    4.69    4.47
Y    W    -    _____
Y    Z    -    _____
;
;

proc glm data=DADOS;
class BLOCO PARC SUBP;
model T1-T7=BLOCO BLOCO*PARC PARC SUBP PARC*SUBP/nouni;
contrast "X vs Y" PARC 1 -1/e=BLOCO*PARC;
manova h=PARC/printe printh;
run;

```

**D:** exemplo de programação utilizada para a realização do terceiro conjunto de análises no experimento com a cultura de arroz.

#### D.1 – Análise multivariada de perfis

```

data DADOS;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X     W   -    0.29  1.41  2.28  3.38  2.77  3.99  3.36
X     Z   -    0.25  1.47  2.90  4.37  4.60  5.80  5.30
Y     W   -    _____
Y     Z   -    _____
;
;

proc glm data=DADOS;
class PARC SUBP BLOCO;
model T1-T7=BLOCO PARC BLOCO*PARC SUBP PARC*SUBP;
repeated tempo 7 (t.1 t.2 t.3 t.4 t.5 t.6 t.7) polynomial/summary printe;
output out=RES r=RC1-RC7 p=PC1-PC7;
run;

```

#### D.2 – Construção de contrastes pela MANOVA

```

data DADOS;
input
PARC $ SUBP $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4      T5      T6      T7;
cards;
X     W   -    0.29  1.41  2.28  3.38  2.77  3.99  3.36
X     Z   -    0.25  1.47  2.90  4.37  4.60  5.80  5.30
Y     W   -    _____
Y     Z   -    _____
;
;

proc glm data=DADOS;
class PARC SUBP BLOCO;
model T1-T5=BLOCO PARC BLOCO*PARC SUBP PARC*SUBP/nouni;

contrast "X vs Y d. Subp W" PARC 1 -1 PARC*SUBP 1 0 -1 0;
contrast "X vs Y d. Subp Z" PARC 1 -1 PARC*SUBP 0 1 0 -1;

contrast "W vs Z d. Parc X" SUBP 1 -1 SUBP*PARC 1 -1 0 0;
contrast "W vs Z d. Parc Y" SUBP 1 -1 SUBP*PARC 0 0 1 -1;

random BLOCO BLOCO*PARC/test;
manova h=PARC SUBP PARC*SUBP/printe printh;
run;

```

**E:** exemplo de programação utilizada para a realização do conjunto de análises referentes à cultura de cacau.

### **E.1 – Análise multivariada de perfis**

```
data DADOS;
input
TRAT $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4;
cards;
X    -      31.3  37.5  43.8  43.8
X    -      56.3  56.3  62.5  62.5
Y    -
Y    -
;
;

proc glm data=DADOS;
class TRAT BLOCO;
model T1-T4=BLOCO TRAT/nouni;
repeated tempo 4 (t.1 t.2 t.3 t.4) polynomial/summary printe;
run;
```

### **E.2 – Construção de contrastes pela MANOVA**

```
data DADOS;
input
TRAT $ BLOCO $ T1      T2      T3      T4;
cards;
X    -      31.3  37.5  43.8  43.8
X    -      56.3  56.3  62.5  62.5
Y    -
Y    -
;
;

proc glm data=DADOS;
class TRAT BLOCO;
model T1-T4=BLOCO TRAT/nouni;

contrast "X vs Y" TRAT 1 -1;

random BLOCO/test;
manova h=TRAT/printe printh;
run;
```

