

NICOLE STEPHANE DE ABREU LIMA

**IMPACTO DOS MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO PARCIAL SOBRE A  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FORRAGENS COM ALTA UMIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2024**

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

T

L732i  
2024  
Lima, Nicole Stephane de Abreu, 1998-  
Impacto dos métodos de desidratação parcial sobre a  
composição química de forragens com alta umidade / Nicole  
Stephane de Abreu Lima. – Viçosa, MG, 2024.  
1 dissertação eletrônica (65 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Edenio Detmann.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Zootecnia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 42-46.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.602>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Silagem - Secagem. 2. Aquecimento por air frying.  
3. Aquecimento por microondas. 4. Secagem por congelamento.  
I. Detmann, Edenio, 1974-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.2


NICOLE STEPHANE DE ABREU LIMA

**IMPACTO DOS MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO PARCIAL SOBRE A  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FORRAGENS COM ALTA UMIDADE**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADO: 30 de agosto de 2024.

Assinatura

  
Nicole Stephane de Abreu Lima

Autora

  
Edenio Detmann  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por todas as oportunidades e obstáculos na minha jornada, que possibilitou meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Celeste e às minhas tias Maria José e Luciene, por sempre me apoiarem e nunca me deixarem desistir mesmo diante de todos os obstáculos, sendo fonte de inspiração e fortaleza nessa minha caminhada. Ao meu pai, que não está mais neste plano, agradeço por sempre ter me incentivado e ter plantado em mim a semente da curiosidade sobre o mundo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia pelo apoio e oportunidade de realização desse trabalho.

Ao CNPq e à CAPES (código de financiamento 001), pelo apoio financeiro e logístico para realização deste projeto.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Professor Edenio Detmann, pela excelente orientação, disposição e incentivo para realizar esse trabalho. Agradeço por ter aberto meus olhos e senso crítico para a ciência. Agradeço a quem admiro pelo extremo profissionalismo, competência e pelo exemplo de humildade. A ele, por ter acreditado na minha pessoa, a minha eterna admiração e gratidão.

Aos membros da banca, por aceitarem participar desta banca e ajudarem a tornar este trabalho melhor.

À professora Cláudia Sampaio, a qual me acolheu no início da graduação e nunca deixou de me incentivar e acreditar em mim.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal, por todo suporte e colaboração nas análises laboratoriais.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Zootecnia, pelos ensinamentos transmitidos, pela competência, dedicação, apoio e pela prontidão.

Aos amigos que a zootecnia me apresentou Daiana, Malber, Luiz, Raphaela, Johnnatan, Nathália e Samira pela amizade, pelos ensinamentos, ajuda e boa risada no convívio diário.

Aos meus amigos Felipe, Edilaine e Esteffany, por sempre estarem ao meu lado fazendo ver o lado bom da vida.

Ao meu companheiro Maciel, pelas reflexões e ajuda durante o período de elaboração e realização do meu projeto.

A todos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho, meu mais sincero. Muito obrigado!

## RESUMO

LIMA, Nicole Stephane de Abreu, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2024. **Impacto dos métodos de desidratação parcial sobre a composição química de forragens com alta umidade.** Orientador: Edenio Detmann.

O presente estudo abrangeu dois experimentos. Em ambos, objetivou-se avaliar os impactos de diferentes métodos de desidratação parcial sobre a composição química de forragens com alta umidade. No primeiro experimento foram avaliadas 20 amostras de silagem de milho. Os métodos avaliados foram: liofilização, desidratação parcial em estufa com ventilação forçada, desidratação parcial em estufa com ventilação forçada precedida por aquecimento inicial em forno micro-ondas e desidratação parcial em micro-ondas. No segundo experimento foram avaliadas 28 forragens divididas em três grupos: silagens, gramíneas *in natura* e leguminosas *in natura*. Neste caso, a desidratação parcial utilizando estufa com ventilação forçada precedida por aquecimento inicial em forno micro-ondas foi substituída pela desidratação parcial em *air fryer*. A influência dos métodos sobre a composição das forragens foi avaliada por características químicas (água, compostos nitrogenados e compostos fibrosos), biológicas (digestibilidade *in vitro* e fibra indigestível) e físicas (padrão colorimétrico). Em geral, observamos que o uso exclusivo de micro-ondas levou à extração de menor quantidade de água das amostras em comparação ao uso de liofilização, comportamento similarmente observado para a utilização de *air fryer*. O uso de aquecimento durante a desidratação parcial levou à modificação do perfil dos compostos nitrogenados nas forragens, dado pela perda de nitrogênio (N), além de insolubilização de compostos nitrogenados como reflexo de desnaturação proteica e ocorrência de reações não enzimáticas. Embora as alterações sobre os compostos fibrosos não tenham mostrado padrão consistente, o uso de aquecimento promoveu redução na digestibilidade *in vitro* da matéria seca das amostras, sem, contudo, afetar a digestibilidade *in vitro* da fibra. Isso sugere eventos de retrogradação de amido, principalmente em amostras de silagem de milho, e formação de artefatos que são solúveis em solução de

detergente neutro. Cabe ressaltar que os impactos mais proeminentes foram verificados sobre amostras de forragens *in natura* e os menos proeminentes em amostras de silagens, evidenciando interações com as características químicas do material em estudo. Adicionalmente, entre os métodos de desidratação parcial com uso de calor, o uso exclusivo de estufa com ventilação forçada se mostrou aquele com menor potencial de modificação das características do material original. Concluímos que o uso de calor durante o processo de desidratação parcial causa modificações químicas em amostras de forragens com alto teor de umidade. Tais alterações ocorrem de forma mais proeminente em amostras de forragem *in natura* em comparação a silagens. Contudo, entre os métodos que envolvem o uso de calor, a secagem em estufa com ventilação forçada é aquele que propicia menor intensidade de modificações químicas, sendo indicado na ausência da possibilidade de utilização da liofilização para desidratação parcial de forragens.

Palavras-chave: *Air fryer*. Estufa com ventilação forçada. Liofilização. Micro-ondas

LIMA, Nicole Stephane de Abreu, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2024. **Impact of partial dehydration methods on the chemical composition of high-moisture forages.** Advisor: Edenio Detmann.

This study comprised two experiments, both aimed at evaluating the impacts of different partial dehydration methods on the chemical composition of high-moisture forages. In the first experiment, 20 samples of corn silage were evaluated. We assessed the following methods: freeze-drying, partial dehydration in a forced-air oven, partial dehydration in a forced-air oven preceded by initial heating in a microwave oven, and partial dehydration using a microwave. In the second experiment, we evaluated 28 forages, divided in three groups: silages, fresh grasses, and fresh legumes. In this case, partial dehydration using a forced-air oven preceded by initial heating in a microwave was replaced by partial dehydration using an air fryer. The influence of the methods on the forage composition was assessed through chemical (water, nitrogenous compounds, and fibrous compounds), biological (*in vitro* digestibility and indigestible fiber), and physical characteristics (colorimetric pattern). In general, we observed that the exclusive use of the microwave resulted in lower water extraction from the samples compared to freeze-drying. A similar pattern was observed when using air fryer. The partial dehydration by heating altered the nitrogenous compounds profile in the forages, which was evidenced by the loss of nitrogen (N) by volatilization and the increased insolubility of nitrogenous compounds due to protein denaturation and the occurrence of non-enzymatic side reactions. Although changes in fibrous compounds did not follow a consistent pattern, the use of heating led to a decreased *in vitro* dry matter digestibility, without affecting *in vitro* fiber digestibility. This suggests the occurrence of starch retrogradation, especially in corn silage samples, and the formation of artifacts that are soluble in neutral detergent solution. It is noteworthy that the most prominent impacts were observed in fresh forage samples, highlighting interactions with the chemical characteristics of the study material. Additionally, among the partial dehydration methods involving heat, the exclusive use of a forced-air oven showed the lowest potential for modifying

the original material's characteristics. We conclude that the use of heat during partial dehydration causes chemical modifications in high-moisture forage samples. These changes are more pronounced in fresh forages compared to silages. However, among the methods involving heat, drying in a forced-air oven implies less chemical modifications and is recommended when freeze drying is not feasible for partial forage dehydration.

Keywords: Air fryer. Forced-air oven. Freeze drying. Microwave

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
2.1. <i>Experimento 1</i> .....	13
2.1.1. <i>Métodos de desidratação parcial</i> .....	13
2.1.2. <i>Análises químicas e biológicas</i> .....	15
2.1.3. <i>Análises estatísticas</i> .....	17
2.2. <i>Experimento 2</i> .....	17
2.2.1. <i>Métodos de desidratação parcial</i> .....	18
2.2.2. <i>Análises químicas, biológicas e físicas</i> .....	19
2.2.3. <i>Análises estatísticas</i> .....	20
<b>3. RESULTADOS</b> .....	22
3.1. <i>Experimento 1</i> .....	22
3.2. <i>Experimento 2</i> .....	24
<b>4.DISSCUSSÃO</b> .....	29
<b>5.CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1.INTRODUÇÃO

Em geral, as forragens compõem a maior parte da dieta dos animais ruminantes. No entanto, para otimizar sua utilização em sistemas de produção, faz-se necessário o conhecimento acurado de sua composição química, a qual constitui o principal determinante da potencialidade e da efetividade no fornecimento de energia e nutrientes para síntese de produtos animais. No entanto, forragens *in natura* e silagens não possuem características físicas totalmente adequadas para sua avaliação química, sendo necessário processamento físico prévio para adequação do material (i.e., conversão da amostra laboratorial em amostra analítica).

Para facilitar o manejo, armazenamento e processamento mecânico (e.g., moagem) das forragens é essencial que seja realizado a desidratação parcial das amostras laboratoriais de forragens de alta umidade (NFTA, 1993; Pelletier et al, 2010; AAFFCO, 2018). De forma ideal, as alterações causadas no material durante o processamento físico devem ser restritas ao âmbito físico (AAFFCO, 2018; Detmann et al., 2021).

A desidratação parcial pode ser realizada por intermédio de frio ou calor, cada via com seus benefícios e limitações. A liofilização é considerada o método que produz amostras analíticas de maior similaridade com o material original, embora não seja completamente isenta de perdas por volatilização (Smith, 1981; Morris et al., 2019). No entanto, seu custo elevado, devido à necessidade de estrutura e equipamentos especializados, dificulta sua ampla adoção.

Por outro lado, métodos que utilizam calor são mais acessíveis; contudo, além de perdas por volatilização, o uso de calor provoca desnaturação proteica e formação de artefatos. Particularmente neste último caso, as alterações são intensificadas pelo uso de temperaturas elevadas (i.e., >60°C). Em sua maioria, os artefatos produzidos por reações não enzimáticas mediadas por calor tendem a ser quantificados como parte da fração fibrosa (Van Soest, 1965;

1994), modificando o perfil químico da amostra analítica e ampliando a divergência em relação ao material original.

O método baseado em calor mais utilizado é a desidratação parcial com o uso de estufa com ventilação forçada (50-60°C; Quirino et al, 2023), pois proporciona melhor controle das características físicas do processo e envolve temperaturas consideradas menos propícias à desnaturação proteica e formação de artefatos. Contudo, o aquecimento lento poderia propiciar a ocorrência de processos metabólicos indesejados (e.g., atividades de enzimas indígenas, degradação de proteínas), além do aumento da probabilidade de ocorrência de reações não enzimáticas devido ao longo tempo demandado (Deinum & Maassen, 1994). Sendo assim, o pré-aquecimento com o uso de forno microondas poderia reduzir vieses sobre a composição química dos alimentos por acelerar o atingimento da temperatura alvo para secagem (Hofman & Belgim, 1965; Pelletier et al., 2010).

Existem outros métodos baseados em calor que são menos onerosos e mais rápidos, com destaque para aqueles que utilizam equipamentos de fácil acesso e baixo custo, como fornos de micro-ondas e *air fryers*. Entretanto, tais equipamentos propiciam menor controle das condições físicas de processamento, como baixa uniformidade de aquecimento do material e dificuldade de controle da temperatura durante o processo de desidratação (Brodie et al., 2019), o que pode ocasionar temperaturas exacerbadas e, conseqüentemente, modificações indesejadas mais proeminentes.

Métodos de menor custo e maior acessibilidade, como aqueles citados acima, são atrativos e tendem a ser adotados com elevada frequência. Contudo, para que sua adoção e aplicação fossem consideradas adequadas, seriam necessários estudos que investigassem seus impactos reais sobre as estimativas de matéria seca e sobre a integridade de analito dos materiais em estudo. Dessa forma, há poucos estudos conduzidos que permitam inferir sobre estas questões. A aplicação de métodos sem o devido embasamento ou, em última instância, sem a

devida padronização, pode incorrer em vieses na composição química estimada das forragens e acarretar equívocos em sua utilização em sistemas de produção.

Desta forma, objetivamos avaliar o impacto de diferentes métodos de desidratação parcial sobre a concentração de matéria seca e sobre a composição química de forragens com alta umidade.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. Todos os procedimentos envolvendo o uso de animais foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (CEUAP/UFV, protocolo 066/2023).

### 2.1. Experimento 1

Foram utilizadas 20 amostras primárias de silagem de milho, todas coletadas em silos localizados na região de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Imediatamente após a coleta, cada amostra primária (1 kg) foi quarteada em quatro subamostras (250 g) e congelada (-20°C). Cada subamostra foi submetida a método distinto de desidratação parcial.

#### 2.1.1. Métodos de desidratação parcial

Os seguintes métodos de desidratação parcial foram avaliados: liofilização, secagem em estufa com ventilação forçada (55°C), secagem em forno de micro-ondas e secagem em estufa com ventilação forçada (55°C) precedida por aquecimento inicial em forno de micro-ondas.

Para todos os casos, as subamostras, após descongelamento em temperatura ambiente, foram acondicionadas em bandejas com peso conhecido e dispostas em camada delgada com, no máximo, 2 cm de altura.

A secagem por liofilização seguiu o método padrão do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA; método G-002/2; Detmann et al., 2021). As subamostras foram descongeladas em temperatura ambiente e novamente congeladas em ultra-freezer (-80°C/12 horas; CL374-89, ColdLab Piracicaba, São Paulo, Brasil). Após o congelamento, as subamostras foram condicionadas em liofilizador por 72 horas (temperatura de trabalho -35°C; vácuo de -218 µHg; LP510, Liobras, São Carlos, São Paulo, Brasil). Após

esse período, as alíquotas foram mantidas em bancada à temperatura ambiente por 40 minutos para que se atingisse equilíbrio com a umidade relativa do ar e pesadas.

A secagem em estufa com ventilação forçada foi conduzida segundo o método padrão do INCT-CA (método G-001/2; Detmann et al., 2021). As subamostras foram acondicionadas em estufa com ventilação forçada de ar (55°C; 171A, Fabbe Primar, São Paulo, São Paulo, Brasil) por 48 horas. Após esse período, as alíquotas foram mantidas em bancada à temperatura ambiente por 40 minutos para que se atingisse equilíbrio com a umidade relativa ao ar e pesadas.

A secagem em micro-ondas foi baseada nos protocolos definidos pela National Forage Testing Association (NFTA; método 2.2.1.2; Undersander et al., 1993). Cada subamostra foi acondicionada em forno de micro-ondas (MEF28; Electrolux, Manaus, Amazonas, Brasil) em potência máxima por 3 minutos. Esta foi então retirada do equipamento e manualmente revolvida. O procedimento de secagem foi repetido por mais duas vezes. Caso a subamostra se mostrasse ainda úmida ao toque, etapas sucessivas de secagem de 1 minuto com 50% da potência máxima foram realizadas até que o material se mostrasse suficientemente seco ao toque. Após esse processo, o material foi disposto em bancada à temperatura ambiente por 40 minutos para que se atingisse equilíbrio com a umidade relativa do ar e pesado.

O método proposto pela NFTA (Undersander et al., 1993) demanda uso de forno de micro-ondas com potência mínima de 600 W. Assim, previamente ao processo de secagem, a potência real do equipamento foi aferida conforme os procedimentos descritos por Souza et al. (2002). O valor estimado obtido com uso do equipamento em 100% de potência foi de 729 W.

A secagem em estufa precedida por aquecimento em micro-ondas foi conduzida de forma similar ao método anteriormente descrito para a secagem em estufa. Contudo, previamente ao acondicionamento das subamostras na estufa, as mesmas foram aquecidas em forno de micro-ondas em potência máxima por 1 minuto (Pelletier et al., 2010), sendo imediatamente introduzidas na estufa.

Ao final de todos os processos de desidratação parcial que envolveram o uso de calor, a temperatura das subamostras foi aferida imediatamente ao final do processo, utilizando-se termômetro infravermelho (TD-965, ICEL Manaus, Manaus, Amazonas, Brasil). As mensurações foram realizadas baseadas em emissividade de 0,9 (emissividade da madeira), posicionando-se o termômetro a, aproximadamente, 20 cm do material.

### 2.1.2. Análises químicas e biológicas

A quantidade de água pressupostamente extraída das subamostras durante os processos de desidratação parcial foi estimada como a perda de peso ocorrida durante os mesmos, conforme as equações:

$$ADP_{MN} = \frac{(MN-ASA)}{MN} \times 1000 \quad (1);$$

$$ASA_{MN} = \frac{ASA}{MN} \times 1000 \quad (2);$$

em que  $ADP_{MN}$  é a água pressupostamente extraída durante o processo de desidratação parcial com base na matéria natural (g/kg); MN é a matéria natural ou o peso da subamostra utilizada (g); ASA é a amostra seca ao ar (g); e  $ASA_{MN}$  é a concentração de amostra seca ao ar com base na matéria natural (g/kg MN).

Após a desidratação parcial, todas as subamostras foram processadas em moinho de facas com peneira de porosidade 2 mm. Posteriormente, metade de cada subamostra foi novamente processada no mesmo equipamento utilizando-se peneira com porosidade de 1 mm. A fração processada em peneira de 2 mm foi utilizada nos procedimentos de incubação *in situ*, ao passo que todos os demais procedimentos descritos a seguir foram realizados empregando-se o material processado em peneira de 1 mm.

A concentração de água residual nos materiais após os procedimentos de desidratação parcial foi avaliada por secagem em estufa (105°C/16 h; método G-003/1; Detmann et al., 2021). Assim, as concentrações de água total e matéria seca (MS) foram obtidas utilizando-se as equações:

$$AR_{ASA} = \frac{(ASA - ASE)}{ASA} \times 1000 \quad (3);$$

$$AT_{MN} = ADP_{MN} + \left( \frac{ASA_{MN} \times AR_{ASA}}{1000} \right) \quad (4);$$

$$MS = 1000 - AT_{MN} \quad (5);$$

em que  $AR_{ASA}$  é a concentração de água residual no material após a desidratação parcial com base na amostra seca ao ar (g/kg ASA); ASE é a quantidade de amostra seca em estufa ou material residual após secagem a 105°C (g);  $AT_{MN}$  é a concentração de água total na amostra (g/kg MN); e MS é a concentração de MS na amostra (g/kg MN). Os demais termos foram previamente descritos.

As análises químicas foram organizadas em dois grupos distintos: compostos fibrosos e nitrogenados. Para o primeiro grupo, as subamostras foram analisadas quanto às concentrações de fibra em detergente neutro (FDN; empregando-se  $\alpha$ -amilase termoestável e omitindo-se o uso de sulfito de sódio; método F-013/1), fibra em detergente ácido (FDA; procedimento sequencial; método F-015/1) e lignina Klason (LIGk; método F-007/2). Todas as análises seguiram os procedimentos descritos por Detmann et al. (2021).

Para avaliação dos compostos nitrogenados, as subamostras foram analisadas quanto aos teores de nitrogênio (N; método N-001/2), N insolúvel em detergente neutro (NIDN; método F-013/1 e N-004/2) e N insolúvel em detergente ácido (NIDA; método F-015/1 e N-005/2), conforme métodos descritos por Detmann et al. (2021). Adicionalmente, avaliou-se a concentração de N solúvel (NS) e insolúvel (NI), tendo como referência a solubilidade dos compostos nitrogenados em tampão borato-fosfato (Licitra et al., 1996). A concentração de N insolúvel não associado à parede celular (nNIDN) foi obtida pela diferença entre as concentrações de NI e NIDN (Sniffen et al., 1992).

As concentrações de FDN indigestível (FDNi) foram avaliadas por intermédio de procedimento de incubação ruminal *in situ* por 288 horas, conforme descrições de Valente et al. (2011). Adicionalmente, a digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi avaliada usando-se

*filter bags* de tecido não-tecido (100 g/m<sup>2</sup>) e incubadora (NT 720, Novatécnica, Piracicaba, São Paulo, Brasil) em procedimento de 48 horas, conforme protocolos descritos por Camacho et al. (2022). A digestibilidade *in vitro* da FDN foi estimada com base na extração dos resíduos de incubação com solução de detergente neutro (método F-002/2; Detmann et al., 2021).

### 2.1.3. Análises estatísticas

Os dados foram analisados segundo o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + M_j + \varepsilon_{ij} \quad (6);$$

em que  $Y_{ij}$  é o valor obtido na amostra  $i$  quando submetida ao método de desidratação parcial  $j$ ;  $\mu$  é a constante geral;  $A_i$  é o efeito aleatório da amostra de silagem de milho  $i$ ;  $M_j$  é o efeito fixo do método de desidratação parcial  $j$ ; e  $\varepsilon_{ij}$  é o erro aleatório, não observável, pressuposto NIID (0,  $\sigma^2_\varepsilon$ ).

Quando pertinente, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey. As análises foram realizadas por intermédio do procedimento MIXED do SAS 9.4 ( $\alpha = 0,05$ ).

## 2.2. Experimento 2

Foram utilizadas 28 amostras primárias de forragem divididas em três grupos: gramíneas *in natura*, leguminosas *in natura* e silagens. O grupo das gramíneas *in natura* (n = 10) foi composto por amostras de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, *U. brizantha* cv. Marandu, *U. humidicola*, *Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri, *M. maximus* cv. Mombaça, *M. maximus* cv. Massai, *Cynodon* sp. Tifton 85, *C. dactylon*, *Cenchrus purpureus* e *Saccharum* sp. O grupo das leguminosas *in natura* (n = 8) foi composto por amostras de *Arachis pintoi*, *Cajanus canjan*, *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Lablab purpureus*, *Pueraria phaseoloides*, *Stylosanthes guainensis* cv. Mineirão e *Neonotonia wightii*. O grupo de silagens (n = 10) foi composto por amostras de silagem de milho (n=4), silagem de cana de açúcar (n=2), silagem de sorgo (n=2) e silagem de capim elefante (n=2).

As amostras de forragens *in natura* foram coletadas por intermédio de corte (15 cm em relação ao solo) em canteiros ou pastagens na região de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. As amostras de silagens foram coletadas em silos também localizados na região de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Imediatamente após a coleta, excetuando-se as amostras de *Cenchrus purpureus* e *Saccharum* sp, as quais foram processadas em desintegradora as demais amostras *in natura* foram seccionadas utilizando-se tesoura afim de diminuir o tamanho das partículas a aproximadamente 2 cm, após esse processo cada amostra primária (1 kg) foi quarteada em quatro subamostras (250 g) e congelada (-20°C), sendo cada subamostra avaliada por método distinto de desidratação parcial.

#### 2.2.1. Métodos de desidratação parcial

Os seguintes métodos de desidratação parcial foram avaliados: liofilização, secagem em estufa com ventilação forçada (55°C), secagem em forno de micro-ondas e secagem em *air fryer*.

Para todos os casos, as subamostras, após descongelamento em temperatura ambiente, foram acondicionadas em bandejas com peso conhecido e dispostas em camada delgada com, no máximo, 2 cm de altura.

Os métodos aplicados para a liofilização, secagem em estufa e secagem em micro-ondas foram os mesmos previamente descritos para o experimento 1. Somente para a secagem em micro-ondas houve uma modificação, com a substituição do forno utilizado (NN-ST27LWRU, Panasonic, Manaus, Amazonas, Brasil), cujo processo de calibração indicou potência efetiva de 635 W.

A secagem em *air fryer* foi baseada nos protocolos estabelecidos por Severson (2019) e Wallau & Vendramini (2019). As subamostras foram acondicionadas em *air fryer* (AF-35-BF, Mondial, China) na temperatura de 121°C por 30 minutos. Aos 15 minutos de secagem, as subamostras foram revolvidas manualmente. Ao fim do procedimento, se estas ainda fossem

encontradas úmidas ao toque, as mesmas foram submetidas a etapas sucessivas de secagem (121°C) de 5 minutos até que se mostrassem suficientemente secas ao toque. Em sequência, estas foram acondicionadas em bancada por, aproximadamente, 40 minutos para se atingir o equilíbrio com a umidade relativa do ar e pesadas.

Ao final de todos os processos de desidratação parcial, a temperatura das subamostras foi aferida utilizando-se termômetro infravermelho (TD-965, ICEL Manaus, Manaus, Amazonas, Brasil). As mensurações foram realizadas baseadas em emissividade de 0,9 (emissividade da madeira), posicionando-se o termômetro a, aproximadamente, 20 cm do material.

### *2.2.2. Análises químicas, biológicas e físicas*

As análises químicas seguiram os procedimentos previamente descritos, incluindo-se três modificações. A concentração de água residual nas alíquotas após os procedimentos de desidratação parcial foi avaliada por secagem em estufa (105°C/3 h), segundo proposições de Quirino et al. (2023). Adicionalmente, a LIGK foi substituída pela lignina por hidrólise ácida (LIG; método F-005/2; Detmann et al., 2021). Por fim, incluiu-se procedimento de separação entre compostos nitrogenados proteicos (NP) e não proteicos (NNP) por solubilização em ácido tricloroacético (método N-002/2; Detmann et al., 2021). A fração de compostos nitrogenados solúveis de origem proteica (NSP) foi calculada pela diferença entre NS e NNP (Sniffen et al., 1992). Representação esquemática das análises de compostos nitrogenados é apresentada na Figura 1.

As análises da concentração de FDNi foram conduzidas como previamente indicado. Contudo, os procedimentos para avaliação da DIVMS e da DIVFDN (48 horas) foram conduzidos em frascos individuais ao invés de incubadora, seguindo-se os protocolos descritos por Gomes et al. (2011).

O padrão de coloração do material após a desidratação parcial foi avaliado adaptando-se os procedimentos descritos por Quirino et al (2023) empregando-se colorímetro (4500 L; Hunter Associates Laboratory Inc., Reston, Virgínia, Estados Unidos) e espaço de coordenadas CIE (Comission Internationale de l'Éclairage; coordenadas L\*, a\* e b\*). Neste sentido, três diferentes aproximações foram realizadas. A primeira compreendeu a avaliação do coeficiente de luminosidade (L\*), o qual varia de preto (i.e., L\* = 0) a branco (i.e., L\* = 100). A segunda baseou-se no ângulo hue (h°), o qual representa o ângulo entre a hipotenusa e o eixo correspondente à coordenada a\* (McGuire, 1992):

$$h^{\circ} = \frac{\arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)}{2\pi} \times 360 \quad \forall a^* > 0 \text{ e } b^* > 0 \quad (7);$$

$$h^{\circ} = \left[ \frac{\arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)}{2\pi} \times 360 \right] + 180 \quad \forall a^* < 0 \text{ e } b^* > 0, \text{ ou } b^* < 0 \quad (8).$$

A terceira consistiu na conversão das coordenadas CIE no sistema RGB (vermelho, verde e azul) utilizando o software Coloroid Professional Color Plan Designer. Estes dados foram compilados em planilha do Microsoft Excel, na qual cada célula foi preenchida com a cor sólida correspondente obtida. Este procedimento foi realizado para fornecer um padrão visual descritivo para os materiais.

Os valores das características colorimétricas obtidas em cada subamostra anteriormente à desidratação parcial foram reduzidas à média para cada amostra primária para permitir comparação válida em relação aos métodos de desidratação parcial.

### 2.2.3. Análises estatísticas

Os dados foram analisados segundo o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_{(i)j} + M_k + GM_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad (9);$$

em que  $Y_{ijk}$  corresponde ao valor mensurado na forragem j pertencente ao grupo i e processada segundo o método k;  $\mu$  é a constante geral;  $G_i$  corresponde ao efeito fixo do grupo de forragens

$i$ ;  $A_{(ij)}$  corresponde ao efeito aleatório da forragem  $j$  aninhada ao grupo de forragens  $i$ ;  $M_k$  corresponde ao efeito fixo do método de desidratação parcial  $k$ ;  $GM_{ik}$  representa a interação entre os efeitos principais (efeito fixo); e  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro aleatório, não observável, pressuposto NIID  $(0, \sigma^2_\varepsilon)$ .

As análises foram realizadas por intermédio do procedimento GLIMMIX do SAS 9.4 ( $\alpha = 0,05$ ). Para o caso de interação significativa entre grupo de forragens e método de desidratação parcial ( $P < 0,05$ ), procedeu-se ao estudo do efeito de método aninhado aos diferentes grupos de forragem utilizando as opções SLICE e SLICEDIFF do procedimento GLIMMIX. Quando pertinente, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Experimento 1

Verificamos diferenças entre métodos para todas as variáveis associadas à quantidade de água extraída das amostras de silagem de milho ( $P < 0,01$ ; Tabela 1). A quantidade de água pressupostamente extraída no método de desidratação parcial foi superior ( $P < 0,05$ ) para a liofilização e secagem em estufa ventilada associada ao aquecimento inicial com micro-ondas, os quais não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ). Neste quesito, a menor quantidade de água foi extraída pelo uso de micro-ondas ( $P < 0,05$ ), ficando o uso de estufa ventilada em posição intermediária no perfil de comparação entre médias. Adicionalmente, a quantidade de água residual nas amostras após a desidratação parcial apresentou comportamento aproximadamente oposto, com a maior quantidade de água ( $P < 0,05$ ) presente na amostra processada em micro-ondas e a menor ( $P < 0,05$ ) com o uso de liofilização.

Apesar da diferença entre métodos ( $P < 0,01$ ) quanto à concentração total de água e MS, estando micro-ondas e estufa associada ao uso de micro-ondas nos extremos do perfil de comparações múltiplas, o comportamento de sobreposição entre as médias não permitiu uma clara diferenciação entre métodos; indicando que a maior ou menor quantidade de água extraída no procedimento de desidratação parcial foi, de certa forma, compensada pela quantidade de água residual extraída durante a secagem definitiva (Tabela 1).

Observamos que a utilização exclusiva de micro-ondas promoveu temperaturas mais elevadas ao final processo de desidratação parcial comparada ao uso de estufa ventilada (Tabela 1).

Todas as variáveis associadas à concentração e de compostos nitrogenados foram afetadas pelos métodos de desidratação parcial ( $P < 0,03$ ; Tabela 2). A menor concentração de N ocorreu com o uso de métodos que envolvem aquecimento ( $P < 0,05$ ). Entre estes, a utilização

de micro-ondas em alguma fase levou aos menores valores de concentração de N. Adicionalmente, observamos que a perda de N refletiu na concentração dos compostos nitrogenados solúveis ( $P < 0,01$ ), uma vez que os métodos baseados em calor acarretaram redução nas concentrações de NS ( $P < 0,05$ ), sendo a menor concentração observada com a utilização exclusiva de micro-ondas. Em menor extensão, o uso exclusivo de micro-ondas aumentou ( $P < 0,05$ ) a concentração de NI em comparação à liofilização, estando os métodos baseados na utilização de estufa em posição intermediária no perfil de comparações múltiplas. Parte dessa ampliação causada pelo uso exclusivo de micro-ondas foi atribuída ao aumento ( $P < 0,05$ ) da concentração de nNIDN, não havendo diferença ( $P > 0,05$ ) entre os demais métodos. Embora os métodos não tenham diferido no tocante à concentração de NIDN ( $P > 0,05$ ), a concentração de NIDA foi superior ( $P < 0,05$ ) para todos os métodos que envolveram aquecimento em comparação ao uso de liofilização.

Não observamos diferenças ( $P \geq 0,20$ ) entre métodos com relação à concentração de FDN e FDN corrigida para contaminação proteica (FDN<sub>p</sub>; Tabela 3). Contudo, observamos diferenças ( $P < 0,01$ ) quanto à concentração de FDA, em que o uso exclusivo de estufa promoveu valores mais elevados ( $P < 0,05$ ) em comparação à liofilização, com os métodos que utilizaram micro-ondas em alguma fase assumindo posição intermediária. Considerando a concentração de FDA com a devida correção para contaminação proteica (FDA<sub>p</sub>), o uso exclusivo de micro-ondas foi similar à liofilização ( $P > 0,05$ ). Independentemente do método, a utilização de calor elevou a concentração de LIGK ( $P < 0,05$ ).

Embora o perfil de comparações múltiplas não tenha permitido o estabelecimento de um padrão claro de respostas quando à DIVMS, observamos que o uso de calor reduziu ( $P < 0,05$ ) esta característica nas amostras de silagem de milho, com efeito negativo mais proeminente com o uso exclusivo de micro-ondas (Tabela 3). No entanto, os métodos não diferiram entre si quanto à DIVFDN ( $P > 0,24$ ). Verificamos distinção ( $P < 0,05$ ) entre a liofilização e a secagem

exclusiva em estufa quanto à concentração de FDNI. Embora os demais métodos tenham se sobreposto a ambos, o padrão observado de comparações múltiplas sugeriu efeito positivo do calor sobre esta variável.

### 3.2. Experimento 2

Apesar da inclusão de diferentes grupos de forragens no experimento 2 e, conseqüentemente, em seu modelo estatístico (Equação 10), a comparação direta entre forragens não fez parte de nossos objetivos. Neste sentido, a inclusão de grupos foi realizada para maior amplitude de resultados e inferências. Assim, decidimos não incluir diferenças simples entre grupos de forragens em nossa discussão, uma vez que partimos do pressuposto que os grupos são diferentes. As diferenças entre grupos forragens podem ser devidamente verificadas nas Tabelas 4 a 8 e nas Figuras 2 a 4. No entanto, a apresentação de resultados e as discussões desta decorrentes terão como foco os efeitos de métodos. Apenas diferenças entre forragens que suportaram o entendimento do comportamento dos diferentes métodos foram focadas deste ponto em diante.

Observamos efeito dos métodos ( $P < 0,01$ ) sobre a água pressupostamente extraída durante a desidratação parcial independentemente do grupo de forragens ( $P > 0,08$ ; Tabela 4). A liofilização e a estufa com ventilação forçada promoveram a maior retirada de água, sendo similares entre si ( $P > 0,05$ ), ao passo que a secagem em *air fryer* removeu a menor quantidade ( $P < 0,05$ ). A secagem em micro-ondas apresentou valor intermediário. O efeito dos métodos sobre a concentração de água residual ocorreu de forma dependente dos grupos de forragem ( $P < 0,02$ ). De forma geral, diferenças foram observadas apenas em gramíneas *in natura* ( $P < 0,01$ ), em que o método com o uso de *air fryer* promoveu a maior concentração de água residual ( $P < 0,05$ ).

A concentração de água total foi afetada pelos métodos de desidratação parcial ( $P < 0,01$ ) independentemente dos grupos de forragens ( $P > 0,21$ ). As maiores concentrações foram obtidas

com a desidratação parcial por liofilização e por estufa e as menores com o uso de micro-ondas e *air fryer* (Tabela 4). O padrão da concentração de MS é simétrico ao observado para a água total. A temperatura das amostras ao final do processo de desidratação parcial foi influenciada pelos métodos ( $P < 0,01$ ) independentemente do grupo de forragens ( $P > 0,62$ ). Todos os métodos diferiram entre si ( $P < 0,05$ ), sendo, em ordem crescente: liofilização, estufa com ventilação forçada, micro-ondas e *air fryer*.

Observamos que os efeitos de métodos sobre a concentração de N ocorreram de forma dependente do grupo de forragens ( $P < 0,03$ ; Tabela 5). Tanto para gramíneas quanto para leguminosas *in natura*, a liofilização conferiu as maiores concentrações de N ( $P < 0,05$ ). As menores concentrações de N ( $P < 0,05$ ) foram obtidas com o uso de *air fryer* e micro-ondas em gramíneas e leguminosas *in natura*, respectivamente. A concentração de N nas silagens não foi afetada pelos métodos de desidratação parcial ( $P > 0,55$ ). Dependência entre métodos e grupos de forragens foi também verificada para a concentração de NS ( $P < 0,01$ ). O padrão de resposta para gramíneas e leguminosas *in natura* foi similar ao que descrevemos para a concentração de N total. Neste caso, houve efeitos de métodos também para as silagens, em que a liofilização e a secagem em *air fryer* conferiram a maior e a menor concentração de NS, respectivamente. Por outro lado, o efeito de métodos sobre a concentração de NI ocorreu ( $P < 0,01$ ) de forma independente do grupo de forragens ( $P > 0,51$ ). O uso de micro-ondas e a liofilização conferiram a maior e menor concentração de NI, respectivamente, observando-se valores intermediários para os demais métodos.

A concentração de NNP exibiu efeito dos métodos de desidratação parcial ( $P < 0,01$ ) sem interagir com os grupos de forragens ( $P > 0,19$ ; Tabela 5). Em média, a liofilização e a secagem em estufa exibiram maiores concentrações, sendo estas superiores ( $P < 0,05$ ) àquelas obtidas com o uso de micro-ondas e *air fryer*. Nenhum efeito de métodos ( $P \geq 0,11$ ) foi verificado sobre a concentração de NP. Interação entre métodos e grupos de forragens foi verificada para a

concentração de nNIDN ( $P < 0,01$ ). Para gramíneas *in natura*, as concentrações de nNIDN foram maiores com o uso de liofilização e secagem em estufa ventilada, menores com o uso de *air fryer* e intermediárias com o uso de micro-ondas. Para leguminosas *in natura*, as maiores concentrações de nNIDN foram obtidas com a liofilização, seguidas da estufa com ventilação e do micro-ondas e *air fryer*, sendo estas últimas similares entre si. A concentração de nNIDN em silagens não variou ( $P > 0,98$ ) em função dos métodos.

A concentração de NSP foi afetada pelos métodos de desidratação parcial ( $P < 0,01$ ) independentemente do grupo de forragens ( $P > 0,17$ ; Tabela 5). A maior concentração foi obtida com a liofilização e as menores com o uso de micro-ondas. Posição intermediária foi verificada para a secagem em estufa e em *air fryer*. Interação entre métodos e grupos de forragens foi verificada para a concentração de NIDN ( $P < 0,01$ ). Para gramíneas *in natura*, as menores ( $P < 0,05$ ) concentrações de NIDN foram obtidas com o uso de liofilizador e estufa ventilada, ao passo que as maiores ( $P < 0,05$ ) ocorreram com a secagem em micro-ondas e *air fryer*. Para leguminosas *in natura*, as menores ( $P < 0,05$ ) concentrações de NIDN foram obtidas com a liofilização, sendo maiores ( $P < 0,05$ ) com a secagem em micro-ondas e *air fryer*. Os métodos não diferiram ( $P > 0,57$ ) com relação ao NIDN em amostras de silagens. Interação entre métodos e grupos de forragens foi também observada ( $P < 0,01$ ) sobre a concentração de NIDA. Contudo, somente leguminosas *in natura* foram afetadas ( $P < 0,01$ ). Neste caso, apenas o uso de *air fryer* causou elevação nas concentrações de NIDA ( $P < 0,05$ ).

A concentração de FDN apresentou interação entre método de desidratação e grupo de forragem ( $P < 0,01$ ; Tabela 6). Em gramíneas *in natura*, a liofilização e o uso de *air fryer* implicaram na menor e maior ( $P < 0,05$ ) concentração de FDN, respectivamente. A desidratação utilizando estufa ventilada e o uso de micro-ondas tiveram concentrações similares ( $P > 0,05$ ), porém o primeiro método se assemelhou a liofilização e o segundo à desidratação usando *air fryer*. Nas leguminosas *in natura*, o uso de calor aumentou ( $P < 0,05$ ) a concentração de FDN,

sendo a concentração em ordem crescente para estufa, micro-ondas e *air fryer*, as últimas não diferindo entre si ( $P > 0,05$ ). A concentração de FDNp foi afetada pelo método de desidratação parcial ( $P < 0,01$ ) sem interação com o grupo de forragens ( $P > 0,94$ ). A maior concentração foi obtida com o uso de *air fryer* ( $P < 0,05$ ); os outros métodos de desidratação parcial não distinguiram-se entre si. Os efeitos dos métodos sobre a concentração de FDA ocorreram dependentemente do grupo de forragens ( $P < 0,01$ ). Somente para leguminosas *in natura* o uso de *air fryer* aumentou ( $P < 0,05$ ) a concentração de FDA. Foi verificada interação entre métodos e grupo de forragens ( $P < 0,01$ ) para a concentração de FDAp. Apenas nas leguminosas *in natura* o uso de micro-ondas diminuiu ( $P < 0,01$ ) a concentração de FDAp ( $P < 0,05$ ). Interação entre método de desidratação parcial e grupo de forragens foi verificada para a concentração de LIG ( $P > 0,01$ ). Observamos que gramíneas e leguminosas *in natura* apresentaram valores mais elevados de LIG com o uso de *air fryer* ( $P < 0,05$ ).

Não identificamos efeito de métodos ou interação com o grupo de forragens ( $P \geq 0,10$ ; Tabela 6) para a concentração de FDNi. Interação entre métodos e grupos de forragens foi verificada para a DIVMS ( $P < 0,01$ ). Para leguminosas *in natura*, as DIVMS foram maiores ( $P < 0,05$ ) com liofilização, decrescendo para estufa ventilada e *air fryer*, estando o micro-ondas em posição intermediária entre a estufa ventilada e a *air fryer*. A DIVFDN não foi afetada pelo método de desidratação parcial ou pela interação com o grupo de forragens ( $P \geq 0,18$ ).

Verificamos interação do método de desidratação parcial com o grupo de forragens para o coeficiente de luminosidade ( $L^*$ ) ( $P < 0,01$ ; Tabela 7). Nas gramíneas *in natura*,  $L^*$  foi menor para as amostras *in natura* ( $P < 0,05$ ), maior com a liofilização, estando os outros métodos em posição intermediária, não diferindo entre si ( $P > 0,05$ ). Para as leguminosas *in natura*, o padrão observado foi similar, apenas com o fato de a *air fryer* assumir posição intermediária entre os métodos que utilizaram calor e o material original. No grupo das silagens, os maiores valores de  $L^*$  ( $P < 0,05$ ), foram obtidos com a liofilização e estufa ventilada, seguidos do uso de micro-

ondas e *air fryer*, sendo o menor valor obtido com o material original. O ângulo hue foi afetado pelos métodos de desidratação parcial de forma dependente do grupo de forragens ( $P < 0,01$ ). De maneira geral, para forragens *in natura*, os valores mais altos foram verificados para as amostras *in natura*, os quais foram, em média, reduzidos com o processamento, sendo esta redução mais intensa com o uso de calor. Os valores de ângulo hue não variaram entre métodos para as amostras de silagem. Os padrões de coloração dos materiais avaliados é demonstrado na Tabela 8.

#### 4.DISCUSSÃO

Em geral, observamos que o uso exclusivo de micro-ondas levou à extração de menor quantidade de água das amostras em comparação ao uso de liofilização, comportamento similarmente observado para a utilização de *air fryer* (Tabelas 1 e 4). Em média, em comparação ao uso de liofilização, a concentração de MS das amostras foi superestimada entre 5,1 e 5,7% com o uso de micro-ondas e, aproximadamente, em 6,5% com o uso de *air fryer*. De forma complementar, este comportamento refletiu menor extração de água durante o processo de desidratação parcial. A menor extração de água pode ser atribuída à dificuldade desses métodos em retirar a água de estrutura do alimento (e.g., água adsorvida em macromoléculas) a qual é de quantificação mais difícil (Khan & Karim, 2017; Joardder et al., 2017). Por outro lado, a maior extração de água pela liofilização em comparação ao uso de micro-ondas e *air fryer* pode ser atribuída à maior eficiência na remoção de água por sublimação em relação à remoção de água por evaporação (Bhatta et al., 2020; Joardder et al., 2017). Contudo, mesmo que a quantidade de água residual fosse maior, não observamos um balanço final perfeitamente equilibrado na extração de água total, o que causou a maior concentração de MS com a utilização de desidratação parcial por micro-ondas ou *air fryer*. Apesar da diferença observada no experimento 1 (Tabela 1), notamos, em média, maior proximidade na água total extraída quando a desidratação parcial foi executada por liofilização e pelo uso exclusivo de estufa ventilada.

Contudo, a avaliação do comportamento obtido em termos de extração de água pode não constituir explicação suficiente, pois o que é extraído durante a desidratação parcial não é necessariamente água e deve ser avaliado de maneira integrada com outras variáveis resposta constantes em nosso estudo. Estudos permitem demonstrar que o uso de calor durante a desidratação parcial pode acarretar a perda de substâncias voláteis e formação de água por

intermédio de reações não enzimáticas indesejadas (Van Soest & Mason, 1991; Van Soest, 1994; Bradley, 2010; Mauer & Bradley, 2017). Isso corrobora a falta de balanceamento entre a menor pressuposta extração de água durante a desidratação parcial e a maior quantidade de água residual extraída durante a secagem em estufa não ventilada (condição comum a todos os métodos avaliados).

A hipótese de modificação química pelo uso excessivo de calor pode ser corroborada pela comparação entre a desidratação parcial por liofilização e pelo uso conjunto de micro-ondas e estufa em amostras de silagem de milho (Tabela 1). Apesar de resultarem na mesma quantidade de água pressupostamente retirada na desidratação parcial, a quantidade de água residual foi maior com o uso conjunto de micro-ondas e estufa. Considerando que a segunda etapa de secagem consistiu de condição comum, este comportamento indica que parte da água retirada na desidratação parcial com o uso conjunto de micro-ondas e estufa pode ser constituída, por exemplo, de água formada durante reações não enzimáticas mediadas por calor. Durante tais reações, ocorre a formação de alguns intermediários, como por exemplo a base Schiff, na qual água é produzida (Van Soest, 1994; Eskin et al., 2013). Assim, este comportamento observado no primeiro experimento pode ser estendido aos demais métodos e coloca dúvidas sobre a capacidade real de remoção de água na desidratação parcial quando os métodos são baseados no uso excessivo de calor. Dessa forma, ao que tudo indica, existe relação direta entre a temperatura aplicada durante a desidratação parcial, a divergência quanto à água total extraída e o nível de modificação química das amostras de forragens. De forma geral, as maiores temperaturas foram atingidas quando micro-ondas e *air dryer* foram utilizados no processo de desidratação parcial (Tabelas 1 e 4).

As alterações mais marcantes observadas em nosso estudo podem ser associadas às concentrações dos compostos nitrogenados. Em primeira instância, verificamos redução na concentração de compostos nitrogenados totais em ambos os experimentos (Tabelas 2 e 5).

Embora no experimento 2 este efeito não tenha sido detectado para as silagens, o mesmo foi devidamente detectado na avaliação exclusiva de silagem de milho no experimento 1. Desta forma, consideramos adequada a conclusão de que o aquecimento de amostras de forragens durante a desidratação parcial implica perda de N.

Contudo, temos que ressaltar que as modificações sobre os compostos nitrogenados totais não ocorrem apenas por volatilização, incluindo outras modificações químicas que acarretam alterações nas propriedades destes compostos, o que pode incluir redução de solubilidade (Deinum & Maassen, 1994; Van Soest, 1994) e do potencial de degradação ruminal (Sadeghi & Shawarang, 2006; Doiron et al., 2009) em comparação ao material original. Em nosso estudo, não procedemos à avaliação química do material natural devido à ampla dificuldade de manejo e processamento das amostras. Embora a liofilização não seja considerada um processo de desidratação parcial totalmente isento de perdas nitrogenadas (Morris et al., 2019), esta é reconhecida como aquela que causa menor nível de distorção nas amostras quando aplicada como método de desidratação parcial (Smith, 1981; Morris et al., 2019). Logo, devido ao alto número de interações observadas no experimento 2 e à necessidade de integração entre experimentos, resumimos os dados de modificação dos compostos nitrogenados de forma gráfica nas Figuras 2 e 3.

As perdas por volatilização podem ser quantificadas de forma direta pela redução na concentração total de N do material. Contudo, a modificação total dos compostos nitrogenados compreende principalmente a volatilização e a insolubilização, sendo, portanto, detectável sobre o pool total de compostos nitrogenados solúveis. Neste sentido, estabelecemos clara associação entre a intensidade de aquecimento durante a desidratação parcial e a modificação total ocorrida nos compostos nitrogenados, independentemente de experimento e tipo de forragem (Figura 2). No experimento 1, contudo, as perdas por volatilização foram mais proeminentes, o que parece refletir o tipo específico de forragem avaliada (i.e., silagem de

milho). Embora não tenhamos analisado a concentração de NNP no experimento 1, verificamos que, em média, a redução do NNP no experimento 2 assemelhou-se numericamente à perda de N total por volatilização, haja vista que não houve alteração no pool de compostos nitrogenados proteicos (Tabela 5). Isto indica que as perdas de N por volatilização ocorrem basicamente a partir do pool de compostos nitrogenados não proteicos. Entre os métodos de desidratação parcial com uso de calor, a estufa com ventilação forçada acarretou a menor intensidade de perdas por volatilização em ambos os experimentos (Figura 2).

Como previamente destacado, parte das modificações totais dos compostos nitrogenados está associada à insolubilização. Contudo, diferentemente da volatilização, a intensidade de insolubilização de compostos nitrogenados causada pelo uso de calor na desidratação parcial parece depender do tipo de forragem a ser processada. O fracionamento dos compostos insolúveis evidenciou poucas alterações quando silagens foram consideradas (Figura 3). Assim, as modificações mais intensas foram observadas no processamento de forragens *in natura* (Figura 3; Tabela 5). O principal desencadeador das reações não enzimáticas é a alta temperatura. Contudo, outros aspectos podem afetar a sua intensidade de ocorrência, como o próprio pH do meio (Eskin et al., 2013). Lee et al. (1984) demonstraram que, mesmo quando a temperatura de aquecimento da amostra é a mesma, a ocorrência de formação de intermediários das reações não enzimáticas são menores quando o pH do meio é ácido. Isso justificaria a menor intensidade de alterações nas frações insolúveis dos compostos nitrogenados das silagens, uma vez que estas possuem pH ácido.

Os resultados aqui obtidos permitem demonstrar uma dinâmica complexa na alteração do padrão de solubilidade dos compostos nitrogenados em função do binômio tempo × temperatura aplicado na desidratação parcial. A primeira das modificações a ser ressaltada é a redução do pool de compostos nitrogenados solúveis (Figura 2), o que parece acontecer não sobre o NNP, como previamente apresentado, mas sim sobre os compostos nitrogenados

solúveis de natureza proteica, como observado no experimento 2 (Tabela 5). No entanto, esta modificação aparentemente não ocorre simplesmente na forma de redução de solubilidade. Se assim o fosse, haveria ampliação do pool de compostos nitrogenados proteicos insolúveis, mas solubilizáveis por detergente neutro (i.e., fração nNDIN). Observamos, no entanto, redução concomitante das frações NSP e nNIDN, tornando-as analiticamente similares aos compostos nitrogenados ligados à parede celular, pois isto acarretou no aumento das frações nitrogenadas insolúveis em soluções de detergentes (Figura 3). Assim, a ação do calor excessivo durante a desidratação parcial, principalmente de forragens *in natura*, sugere o desencadeamento de reações de polimerização não enzimáticas envolvendo os compostos proteicos solúveis e também a fração nNDIN (Van Soest, 1994; Pelletier et al., 2010), ampliando artificialmente a participação dos compostos nitrogenados ligados à parede celular. Todavia, as modificações mais intensas implicaram elevações no NIDN, as quais não foram acompanhadas na mesma intensidade por elevações em NIDA. Nesta dinâmica de modificações, dois pontos podem ser ressaltados. Primeiro, reiteramos que tais reações são mais proeminentes com forragens *in natura* quando comparadas às silagens. Segundo, entre os métodos que envolveram a aplicação de calor, a estufa com ventilação forçada foi aquela que acarretou menor intensidade de modificações.

A hipótese acima levantada da formação de artefatos por reações não enzimáticas pode ser corroborada pela avaliação das características colorimétricas das amostras de forragens *in natura*. Esta avaliação deve ser realizada em duas instâncias. A primeira compreende as transformações perceptíveis pela comparação entre amostras *in natura* e liofilizadas. Amostras *in natura* tenderam a apresentar coloração verde intensa (Tabela 8, amostras 11 a 28, com exceção da amostra 12 que correspondeu à cana de açúcar), confirmado também pelos maiores valores do ângulo hue. Estes, sendo maiores que 90°, indicam coloração tendendo ao verde (i.e., 180°; Wrolstad & Smith, 2017). Adicionalmente, isso atribui percepção de coloração escura,

confirmada pelos menores valores de coeficiente de luminosidade (Tabela 7). Com a liofilização, percebemos o clareamento das amostras (Tabela 8), com a consequente elevação dos coeficientes de luminosidade (Tabelas 7 e 8) e ângulos hue aproximando-se mais de 90°, que corresponde à coloração amarela (Wrolstad & Smith, 2017). Atribuímos isso, ao menos parcialmente, à degradação dos pigmentos do material natural, causando seu clareamento/“amarelamento”.

Parece lógico pressupor que a destruição de pigmentos também ocorra com o uso de calor na desidratação parcial. No entanto, o padrão de cor, nestes casos, mostrou-se diferente daquele verificado com a liofilização. Com o uso de calor, os ângulos hue das amostras de forragens *in natura* tenderem a se distanciar do amarelo (i.e., 90°), aproximando-se do vermelho (i.e., 0°), sendo este efeito mais proeminente com o uso de micro-ondas e *air fryer* (Tabela 7). Adicionalmente, em comparação à liofilização, o uso de calor promoveu redução dos coeficientes de luminosidade, aproximando-se mais do valor corresponde ao preto (i.e., L = 0). A fusão do amarelo, com maior participação de vermelho e do preto acarreta na manifestação da cor marrom (Quirino et al., 2023), coloração caracteristicamente associada aos artefatos gerados por reações não enzimáticas (Zhang et al., 2018). Assim, percebemos a confluência dos resultados apontados pelas modificações no perfil dos compostos nitrogenados e do padrão colorimétrico, indicando altos níveis de distorção causados pelo uso excessivo de calor na desidratação parcial. Mais uma vez, entre os métodos que envolveram o uso de calor, a estufa com ventilação forçada mostrou-se aquele com menor impacto sobre a composição das amostras.

O aumento dos compostos nitrogenados insolúveis e suas concomitantes modificações químicas deveriam refletir diretamente sobre a concentração dos compostos fibrosos. Contudo, diversas sobreposições surgiram nos perfis de comparações múltiplas, o que tornou difícil o estabelecimento direto destas associações. Para silagens no primeiro e segundo experimentos,

pouco foi observado com relação a alterações na concentração de FDN, com exceção de aumento proeminente na concentração média geral de FDN<sub>p</sub> com a utilização de *air fryer* (Tabela 6). Para forragens *in natura*, verificamos elevação das concentrações de FDN com o uso dos métodos baseados em calor, havendo amenização desta diferença quando as concentrações foram expressas com a devida correção para proteína contaminante. Neste caso, ressaltamos novamente o efeito do uso de *air fryer* (Tabela 6), pois quanto maior o tempo de exposição da amostra a temperaturas elevadas, maior também a ocorrência de reações não enzimáticas (Feather & Nelson, 1984). Os compostos insolúveis resultantes das reações não enzimáticas possuem N em sua composição (Van Soest et al., 1965; Zhang et al., 2018), o que implicaria em diferenças mais proeminentes quando as concentrações de FDN são expressas sem a devida correção, o que suporta o comportamento observado com forragens *in natura*. Cabe ressaltar que forragens *in natura* tendem a ser mais ricas em compostos aminoacídicos (Rooke & Hatfield, 2003), os quais constituem substratos para as reações de polimerização não enzimática (Van Soest, 1994; Zhang et al., 2018). Além do processo de fermentação ocasionar o pH mais ácido nas silagens, este também promove transformação de N proteico em N amoniacal (Rooke & Hatfield, 2003). Logo, por possuírem menor concentração de compostos aminoacídicos, os efeitos sobre a elevação artificial da concentração de fibra seriam menores com silagens, corroborando nossos resultados. Para o melhor entendimento destes efeitos, calculamos a razão entre as concentrações de FDN sem e com a devida correção para os compostos nitrogenados contaminantes. Quando amostras de silagens foram consideradas, observamos relações relativamente baixas e constantes, indicando pouca influência dos métodos de desidratação parcial sobre a FDN (Figura 4). Contudo, esta relação se mostrou muito mais elevada para forragens *in natura*, sendo proporcional ao calor imputado sobre as amostras, o que corrobora nossos argumentos previamente apresentados para a modificação dos compostos nitrogenados.

Similarmente, as concentrações de FDA no experimento 1 (Tabela 3) e para leguminosas *in natura* no experimento 2 (Tabela 6) também apresentaram influência dos métodos de desidratação parcial, mas com sobreposições que dificultaram a percepção clara do padrão de efeitos. Um resultado se destacou dos demais quando leguminosas foram desidratadas com o uso de micro-ondas, o qual consistiu na redução da concentração de FDAp. Uma possível explicação é que a radiação de micro-ondas poderia ocasionar a quebra de compostos ligno-celulósicos (Brodie, 2007). Contudo, isso não parece constituir causa suficiente para explicar o comportamento observado em um único tipo de material (i.e., leguminosas *in natura*). De certo, a correção para os compostos nitrogenados contaminantes tornou mais homogêneos os resultados obtidos com os diferentes métodos. Contudo, a razão entre as concentrações de FDA sem e com correções evidenciou padrão semelhante ao previamente descrito para as concentrações de FDN (Figura 4), com um detalhe adicional. Quando consideradas forragens *in natura*, os efeitos do aquecimento sobre estas razões foram mais intensos para a FDN em comparação à FDA. Isso corrobora nossos argumentos previamente apresentados de que a insolubilização de compostos nitrogenados neste tipo de material implica no aumento exacerbado de compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro, mas que não são necessariamente insolúveis em detergente ácido (fração nNIDA; Figura 3). Ressaltamos que, entre os métodos baseados no uso de calor, a estufa com ventilação forçada foi aquele como menor nível de alteração sobre os compostos fibrosos.

A despeito da reconhecida indigestibilidade dos artefatos criados por reações não enzimáticas (Deinum & Maassen, 1994; Van Soest, 1994; Pelletier et al., 2010), nenhum efeito sobre a DIVFDN foi verificado em nosso estudo, o que contraria resultados obtidos por Pelletier et al. (2010), que verificaram decréscimo nesta característica quando amostras de forragens foram parcialmente desidratadas com o uso de calor. Por outro lado, segundo alguns autores, a radiação de micro-ondas poderia incorrer em aumento da digestibilidade. Devido ao rápido

aquecimento e à alta umidade, o micro-ondas possibilitaria a formação de bolhas de vapor dentro das células vegetais, o que poderia ocasionar sua ruptura, facilitando o acesso enzimático ao interior celular (Chen et al., 2012; Joardder et al., 2017; Brodie et al., 2019). Contudo, estes argumentos não foram suportados por nossos resultados. Embora tenha se observado incremento na concentração de lignina com o uso de métodos baseados em calor em amostras de silagem de milho (Tabela 3) e com o uso de *air fryer* para forragens *in natura* (Tabela 6), tais alterações não corresponderam ao comportamento verificado para a DIVFDN. Padrão aproximadamente similar se verificou para a concentração de FDNi. Apesar das sobreposições dos testes de comparações múltiplas, o uso de calor elevou a FDNi em amostras de silagem de milho (Tabela 3), mas sem nenhuma alteração no segundo experimento (Tabela 6). Apesar da ausência de associação com a DIVFDN, as alterações causadas por calor quanto à concentração de FDNi poderiam representar problema quando este componente fosse usado como indicador interno em ensaios de consumo e digestibilidade com animais ruminantes.

No entanto, a DIVMS foi consistentemente reduzida com o uso de calor em amostras de silagem de milho (Tabela 3) e leguminosas *in natura* (Tabela 6). Torna-se importante ressaltar que as reduções mais proeminentes da DIVMS ocorreram quando micro-ondas e *air fryer* foram utilizados. Como alterações não foram verificadas com a relação à DIVFDN, a redução da DIVMS parece ser resultante de alterações ocorridas em componentes que permaneceram no conteúdo celular. Para a silagem de milho, especulamos que processo de retrogradação do amido tenha ocorrido. O calor aplicado na desidratação parcial pode promover a gelatinização do amido, que consiste na quebra da cristalinidade dos grânulos de amido (Sajilata et al., 2006). Com o aquecimento, água é absorvida pelos grânulos, causando o entumescimento dos mesmos e solubilização parcial do amido. Contudo, com o resfriamento, um processo de sinérise se inicia (i.e., expulsão de líquido do gel) e novas estruturas de dupla hélice são formadas, sendo, contudo, diferentes das originais e mais resistentes à digestão

enzimática. A retrogradação da amilose ocorre em poucas horas após o resfriamento (Sajilata et al., 2006). O uso de micro-ondas causa queda na solubilidade e na cristalinidade da molécula do amido, tornando a estrutura menos cristalina e mais amorfa e possibilitando que a retrogradação da molécula ocorra mais facilmente (Jiang et al., 2017). Assim, a retrogradação seria causada pela sequência de aquecimento e resfriamento das amostras de silagem de milho na desidratação parcial. Quanto às leguminosas, devido à sua maior concentração de proteína, existiriam mais substratos proteicos para a ocorrência de reações não enzimáticas. O conteúdo celular de leguminosas forrageiras apresenta sacarose, galactanas e amido (Van Soest, 1994). Assim, o excesso de proteínas/aminoácidos pode ter propiciado maior intensidade de reações não enzimáticas envolvendo estes carboidratos com o uso de calor. É importante ressaltar que a hemicelulose e os açúcares solúveis (sacarose) são os principais carboidratos que sofrem danos no processamento térmico e, ao serem degradados, seus monômeros constituirão substrato para a ocorrência das reações não enzimáticas (Van Soest & Mason, 1991). No entanto, as reações não enzimáticas possuem diversos passos e formação de diferentes intermediários. Um dos artefatos intermediários formado com os monômeros de açúcar é o furfural, o qual é essencialmente indigestível. Contudo o mesmo, por ser solúvel, não é detectável nas análises de fibra pelo sistema detergente (Van Soest, 1994). Além disso, embora as concentrações de NSP e nNDIN tenha sido reduzidas pelo calor, nossas mensurações não permitem o completo entendimento químico qualitativo destes compostos. Assim, é possível que os compostos nitrogenados proteicos do conteúdo celular remanescentes após o aquecimento constituam, ao menos em parte, artefatos indigestíveis, mas que não são necessariamente insolúveis. Isso justificaria o decréscimo da DIVMS, mas a ausência de alteração na DIVFDN em leguminosas *in natura*.

De forma geral, os resultados discutidos permitem evidenciar que o uso de calor na desidratação parcial é responsável pelas e proporcional às principais alterações nas

características químicas de amostras de forragem. Isso justificaria o menor nível de alteração obtido com o uso exclusivo de estufa ventilada, haja vista que, entre os métodos baseados no uso de calor, este conferiu as menores temperaturas ao final do processo de desidratação parcial (Tabelas 1 e 4).

O acoplamento do micro-ondas com a estufa ventilada visa interromper processos metabólicos da forragem fresca (e.g., respiração, atividades de enzimas indígenas, degradação de proteínas). A estratégia para inibir esses processos é o aumento rápido da temperatura das amostras, evitando ou amenizando modificações indesejadas as quais ocorreriam durante a lenta curva de aquecimento propiciada pela estufa ventilada (Hofman & Belgim, 1965; Karn et al., 1991; Deinum & Maassen, 1994; Pelletier et al., 2010). Contudo, nenhum benefício foi obtido com este acoplamento. Pelo contrário, nossos resultados indicaram que os aspectos negativos do uso exclusivo de micro-ondas são majoritariamente observados quando o aquecimento prévio em micro-ondas é aplicado.

A desidratação parcial utilizando micro-ondas foi proposta como solução para reduzir o tempo de secagem gasto na desidratação parcial por estufa com ventilação forçada (Joardder et al., 2017). Contudo, a baixa uniformidade de aquecimento das amostras e a dificuldade do controle de temperatura durante o processo de desidratação são possivelmente as principais limitações do seu uso (Jiang et al., 2017; Brodie et al., 2019). Em nosso estudo, pudemos verificar que o uso de micro-ondas causou temperaturas finais de secagem superiores a 80°C, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de reações não enzimáticas, as quais são intensificadas a partir de 60°C (Van Soest, 1965).

Em tese, o funcionamento da *air-fryer* é similar ao da estufa com circulação forçada de ar. Para secagem da amostra é utilizada corrente de ar aquecido, permitindo o aquecimento do material de forma uniforme e rápida (Lee & Lee, 2024). No entanto, a corrente de ar gerada pela *air fryer* é mais intensa do que a gerada na estufa. Quando amostras desintegradas são

submetidas a esse processo, estas podem ser suspensas e espalhadas por todo o equipamento (Figura 5), comprometendo recuperação de material e possibilitando a ocorrência de erro por recuperação incompleta de massa (AAFCO, 2018). Além disso, a temperatura sugerida para a desidratação parcial com *air fryer* (121°C; Severson, 2019) exacerbaria a ocorrência de reações não enzimáticas, conforme discutido anteriormente. Contudo, problema adicional relacionado ao calor é ocasionado pela disposição dos componentes do equipamento, em especial a resistência, a qual se localiza na parte superior do equipamento separada da amostra apenas por uma grade de metal. A intensa corrente de ar emitida pelo equipamento possibilita que algumas partículas sejam suspensas e fiquem presas a grade, ocasionando a carbonização desse material, (Figura 5). Isso aumentaria ainda mais a discrepância da amostra analítica em relação ao material original.

Em resumo, apesar de todos os problemas gerados pelo uso de calor na desidratação parcial, estes se mostraram menores com o uso de estufa ventilada. Apesar dos entraves gerados pelo tempo necessário para secagem do material, menor intensidade de modificações químicas são verificadas tendo a liofilização como referencial. Obviamente, a liofilização ainda não pode ser considerada método de desidratação parcial de ampla adoção, pois muitas barreiras econômicas e logísticas existem para que um sistema de liofilização seja implantado em um laboratório. Assim, considerando-se a menor intensidade de alterações químicas, a estufa com ventilação forçada seria considerada opção mais viável visando à máxima preservação das características originais das forragens em estudo.

## 5.CONCLUSÃO

O uso de calor durante o processo de desidratação parcial causa modificações químicas em amostras de forragens com alto teor de umidade. Tais alterações ocorrem de forma mais proeminente em amostras de forragem *in natura* em comparação a silagens. Contudo, entre os métodos que envolvem o uso de calor, a secagem em estufa com ventilação forçada é aquele que propicia menor intensidade de modificações químicas, sendo indicado na ausência da possibilidade de utilização da liofilização para desidratação parcial de forragens.

## REFERÊNCIAS

- Association of American Feed Control Officials – AAFCO. **GOOD Test Portions**: guidance on obtaining defensible test portions. Champaign: AAFCO, 2018. 78p.
- Bhatta, S.; Stevanovic, T.; Ratti, C. Freeze-drying of maple syrup: efficient protocol formulation and evaluation of powder physicochemical properties. **Drying Technology**, v.39, p.1138-1150, 2020. DOI: 10.1080/07373937.2019.1616751
- Bradley, R.L. Moisture and total solids analysis. In: Nielsen, S.S. (Ed.) **Food analysis**. 4 ed. Boston: Springer, 2010. pp.85-93. DOI:10.1007/978-1-4419-1478-1\_6
- Brodie, G. Simultaneous heat and moisture diffusion during microwave heating of moist wood. **Applied Engineering in Agriculture**, v.23, p.179-187, 2007. DOI:10.13031/2013.22597
- Brodie, G.; Bootes, N.; Dunshea, F.; Leury, B. Microwave processing of animal feed: a brief review. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.62, p.705-717, 2019. DOI: 10.13031/trans.13266
- Camacho, L.F.; Silva, T.E.; Rodrigues, J.P.P.; Franco, M.O.; Detmann, E. A Standard procedure for in vitro digestion using rumen fermenters: a collaborative study. **Animals**, v.12, 2842, 2022. DOI: 10.3390/ani12202842
- Chen, C.; Boldor, D.; Aita, G.; Walker, M. Ethanol production from sorghum by a microwave-assisted dilute ammonia pretreatment. **Bioresource Technology**, v.10, p.190-197, 2012. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.01.021
- Deinum, B.; Maassen, A. Effects of drying temperature on chemical composition and in vitro digestibility of forages. **Animal Feed Science and Technology**., v.46, p.75–86, 1994. DOI: 10.1016/0377-8401(94)90066-3
- Detmann, E.; Costa e Silva; L.F.; Rocha G.C.; Palma, M.N.N.; Rodrigues, J.P.P. **Métodos para Análise de Alimentos**. 2 ed. Viçosa: Suprema, 2021. 350p.

Doiron, K.; Yu, P.; McKinnon, J.J.; Christense, D.A. Heat-induced protein structure and subfractions in relation to protein degradation kinetics and intestinal availability in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.3319-3330, 2009. DOI: 10.3168/jds.2008-1946

Eskin, N.A.M.; Ho, C.T.; Shahidi, F. Browning reactions in foods. In: Eskin, N.A.M.; Shahidi, F. (Eds.) **Biochemistry of foods**. 3 ed. London: Elsevier, 2013. pp.245-288. DOI: 10.1016/C2009-0-02724-X

Feather, M.S.; Nelson, D. Maillard polymers derived from D-glucose, D-fructose, 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde, and glycine and methionine. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.32, p.1428-1432, 1984. DOI: 10.1021/jf00126a053

Gomes, D.I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S.C.; Fukushima, R.; De Souza, M.A.; Valente, T.N.P.; Paulino, M.F.; De Queiroz, A.C. Evaluation of lignin contents in tropical forages using different analytical methods and their correlations with degradation of insoluble fiber. **Animal Feed Science and Technology**, v.16, p.206-222, 2011. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.05.001

Hofman, M.A.J.; Belgim, L. Microwave heating as an energy source for the predrying of herbage samples. **Plant Soil**, v.23, p.145-148, 1965. DOI: 10.1007/BF01349126

Jiang, H.; Liu, Z.; Wang, S. Microwave processing: effects and impacts on food components. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.58, p.2476-2489, 2017. DOI: 10.1080/10408398.2017.1319322

Joardder, M.U.H.; Karim, A.; Kumar, C. Effect of temperature distribution on predicting quality of microwave dehydrated food. **Journal of Mechanical Engineering and Sciences**, v.5, p.562-568, 2013. DOI: 10.1080/10408398.2014.971354

Joardder, M.U.H.; Kumar, C.; Karim, M. A. Food structure: its formation and relationships with other properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.57, p.1190- 1205, 2017. DOI: 10.1080/10408398.2014.971354

Karn, J.F. Chemical composition of forage and feces as affected by microwave oven drying. **Journal of Range Management**, v.44, p.512-505, 1991. DOI: 10.2307/4002755.

Khan, M. I. H; Karim, M. A. Cellular water distribution, transport, and its investigation methods for plant-based food material. **Food Research International**. v.99, p.1-14, 2017. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.06.037

Lee, C.M.; Sherr, B.; Koh, Y.N. Evaluation of kinetic parameters for a glucose-lysine maillard reaction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.32, p.379-382, 1984. DOI: 10.1021/jf00122a049

Lee, Y.; Lee, K. Effects of pan- and air fryer-roasting on volatile and umami compounds and antioxidant activity of dried laver (*Porphyra dentata*). **Food Chemistry**, v.458, 140289, 2024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.140289

Licitra, S.; Hernandez, T.M.; Van Soest, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996. DOI: 10.1016/0377-8401(95)00837-3

Mauer, L.J.; Bradley, R.L. Moisture and total solids analysis. In: Nielsen, S.S. (Ed.) **Food analysis**. 5 ed. Chan: Springer, 2017. pp. 257-286. DOI:10.1007/978-3-319-45776-5\_15

McGuire, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v.27, p.1254-1255, 1992. DOI: 10.21273/HORTSCI.27.12.1254

Morris, D. L.; Tebbe, A. W.; Weiss, W. P.; Lee, C. Effects of drying and analytical methods on nitrogen concentrations of feeds, feces, milk, and urine of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.102, p.5212-5218, 2019. DOI: 10.3168/jds.2019-16256.

Pelleiter, S.; Trambly, G.F.; Bertrand, A.; Bélanger, G.; Castonguay, Y.; Michaud, R. Drying procedures affect non-structural carbohydrates and other nutritive value attributes in forage samples. **Animal Feed Science and Technology**, v.157, p.139-150, 2010. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.02.010.

Quirino, D.F.; Lima, N.S.A.; Palma, M.N.N.; Franco, M.O.; Detmann, E. Evaluation of heating times for loss on drying at 105°C for estimation of laboratory dry matter in animal feeds. **Journal of AOAC International**, v.106, p.261-266, 2023. DOI: 10.1093/jaoacint/qsad004

Rooke, J.A.; Hatfield, R.D. Biochemistry of ensiling. In: Buxton, D.R.; Muck, R.E.; Harrison, J.H. (Eds.), **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 2003. pp.95–139. DOI: 10.2134/agronmonogr42.c3

Sadeghi, A.A.; Shawarang, P. Effects of microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. **Animal Feed Science and Technology**, v.127, p.113-123, 2006. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.07.004

Sajilata, M.G.; Singhal, R.S.; Kulkarni, P.R. Resistant starch - a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.5, p.1-17, 2006. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x

Severson, D. How to use an air fryer to determine dry matter. **Progressive Forage**, 2019. Disponível em: <https://www.agproud.com/articles/32006-how-to-use-an-air-fryer-to-determine-dry-matter>. Acessado em: 04 abr. 2023.

Smith, D. **Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue**. Madison: University of Wisconsin. 1981. 13p.

Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P.J.; Fox, D.G.; Russell, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-3577, 1992. DOI: 10.2527/1992.70113562x

Souza, G.B.; Nogueira, A.R.A.; Rassani, J.B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 9p.

- Undersander, D.; Mertens, D.R.; Thiex, N. **Forage analyses procedures**. Omaha: National Forage Testing Association, 1993. 139p.
- Valente, T.N.P.; Detmann, E.; Valadares Filho, S.C.; Cunha, M.; Queiroz, A.C.; Sampaio, C.B. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.2565-2573, 2011. DOI: 10.1590/S1516-35982011001100039
- Van Soest, P.J. Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. **Journal of the Association of Official Agricultural Chemists**, v.48, p785-790, 1965. DOI: 10.1093/jaoac/48.4.785
- Van Soest, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- Van Soest, P.J. **The detergent system for analysis of foods and feeds**. 2 ed. Ithaca: Cornell University, 2015. 176p.
- Van Soest, P.J.; Mason, V.C. The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.32, p45-53, 1991. DOI: 10.1016/0377-8401(91)90008-G
- Wrolstad, R.E.; Smith, D.E. Color Analysis. In: Nielsen, S.S. (Ed.) **Food analysis**. 5 ed. Cham: Springer, 2017. pp.545-555. DOI: 10.1007/978-3-319-45776-5\_31
- Walluad, M.; Vendramini, J. Methods of moisture testing. **University of Florida**, 2019. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AG181>. Acessado em: 04 abr. 2023. DOI: 10.32473/edis-ag181-2019
- Zhang, L.-L.; Kong, Y.; Yang, X.; Zhang, Y.-Y.; Sun, B.-G.; Chen, H.-T.; Sun, Y. Kinetics of 5-hydroxymethylfurfural formation in the sugar-amino acid model of Maillard reaction. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.99, p.2340-2347, 2018. DOI:10.1002/jsfa.9432 32.

**Tabela 1.** Água retirada, concentração de matéria seca e temperatura ao final dos métodos de secagem por calor em amostras de silagem de milho submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, b</sup>					Valor P
	L	E	M+E	M	EPM	
ADP <sup>d</sup>	644a	623b	641a	598c	6,9	<0,001
AR <sup>e</sup>	70,8c	116,5a	93,0b	129,3a	4,23	<0,001
AT <sup>d</sup>	669ab	667ab	674a	650b	6,1	<0,001
MS <sup>d</sup>	331ab	333ab	326b	350a	6,1	<0,001
TF <sup>f</sup>	-	52,9±0,5	56,9±0,3	97,2±0,5	-	-
TI <sup>f</sup>	-	-	44,6±1,4	-	-	-

<sup>a</sup> L, liofilização; E, secagem em estufa; M+E, aquecimento prévio em micro-ondas com secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas. <sup>b</sup> Médias seguidas por letras diferentes diferem (P<0.05). <sup>c</sup> ADP, água pressupostamente retirada na desidratação parcial; matéria natural; AT, água total; TF, temperatura da amostra ao final do processo de desidratação parcial; TI, temperatura intermediária da amostra após o aquecimento prévio em micro-ondas. <sup>d</sup> g/kg de matéria natural. <sup>e</sup> g/kg de amostra seca ao ar. <sup>f</sup> °C.

**Tabela 2.** Concentração de compostos nitrogenados (g/kg de matéria seca) em amostras de silagem de milho submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, b</sup>				EPM	Valor P
	L	E	M+E	M		
N	11,6a	10,8b	10,0c	9,9c	0,33	<0,001
NS	7,28a	6,13b	5,49c	4,93d	0,379	<0,001
NI	4,27c	4,64b	4,54b	4,94a	0,090	<0,001
nNIDN	3,26b	3,49b	3,47b	3,79a	0,094	<0,001
NIDN	1,02a	1,15a	1,07a	1,15a	0,041	0,029
NIDA	0,230b	0,366a	0,354a	0,386a	0,0202	<0,001

<sup>a</sup> L, liofilização; E, secagem em estufa; M+E, aquecimento prévio em micro-ondas com secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas. <sup>b</sup> Médias seguidas por letras diferentes diferem (P<0.05). <sup>c</sup> NS, N solúvel; NI, N insolúvel; nNIDN, N insolúvel não ligado à parede celular; NIDN, N insolúvel em detergente neutro; NIDA, N em detergente ácido.

**Tabela 3.** Concentração de compostos fibrosos (g/kg matéria seca) e digestibilidade *in vitro* (g/kg) em amostras de silagem de milho submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>c, d</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, b</sup>				EPM	Valor P
	L	E	M+E	M		
FDN	402	421	413	409	7,6	0,20
FDNp	396	414	407	402	7,5	0,22
FDA	207b	223a	213ab	212ab	4,7	0,003
FDAp	205b	220a	211ab	209b	4,6	<0,001
LIGK	82,6b	97,1a	95,8a	90,9a	1,84	<0,001
DIVMS	764a	735bc	756ab	725c	7,6	<0,001
DIVFDN	563	562	580	543	13,9	0,24
FDNi	143b	158a	146ab	149ab	3,7	0,013

<sup>a</sup> L, liofilização; E, secagem em estufa; M+E, aquecimento prévio em micro-ondas com secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas. <sup>b</sup> Médias seguidas por letras diferentes diferem (P<0.05). <sup>c</sup> FDN, fibra insolúvel em detergente neutro. FDNp fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para proteína; FDA, fibra insolúvel em detergente ácido; FDAp, fibra insolúvel em detergente ácido corrigida para proteína; LIGK, lignina Klason; DIVMS, digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVFDN, digestibilidade *in vitro* da FDN; FDNi fibra em detergente neutro indigestível. <sup>d</sup> As concentrações de FDN e FDA corrigidas para proteína forma realizadas descontando-se as concentrações de NIDN e NIDA multiplicadas pelo fator 6,25, respectivamente.

**Tabela 4.** Água retirada, concentração de matéria seca e temperatura ao final dos métodos de desidratação parcial em amostras de forragens de diferentes grupos submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
ADP <sup>h</sup>	GIN	758	756	749	726	-	747AB	14,8	0,028	0,001	0,088
	LIN	786	793	776	785	-	785A	16,6			
	SIL	730	723	720	713	-	722B	14,8			
	Média <sup>g</sup>	758A	758A	748AB	741B	-	-	-			
	EPM			9,3		-	-	-			
AR <sup>i</sup>	GIN	103b	103b	100b	118a	0,002	-	4,0	0,072	0,008	0,012
	LIN	117a	113a	103a	104a	0,036	-	4,5			
	SIL	103	105	93	101	0,11	-	4,0			
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-							
AT <sup>h</sup>	GIN	783	781	774	759	-	774AB	13,3	0,023	<0,001	0,21
	LIN	811	817	799	808	-	809A	14,9			
	SIL	758	753	746	742	-	750B	13,3			
	Média <sup>g</sup>	784A	783A	773B	770B	-	-	-			
	EPM			8,3		-	-	-			

**Tabela 4.** Continuação

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
MS <sup>h</sup>	GIN	217	219	226	241	-	226AB	13,3	0,023	<0,001	0,21
	LIN	189	183	201	192	-	191B	14,9			
	SIL	242	247	254	258	-	250A	13,3			
	Média <sup>g</sup>	216B	217B	227A	230A	-	-	-			
	EPM			8,3		-	-	-			
TF <sup>j</sup>	GIN	31,6	51,3	80,1	102,9	-	-	-	0,94	<0,001	0,62
	LIN	30,2	49,4	86,1	102,0	-	-	-			
	SIL	31,7	51,3	87,0	98,8	-	-	-			
	Média <sup>g</sup>	31,1D	50,7C	84,4B	101,2A	-	-	-			
	EPM			1,77		-	-	-			

<sup>a</sup> L, liofilização; E, secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas; AF, secagem em *air fryer*. <sup>b</sup> ADP, água pressupostamente retirada na desidratação parcial; AR, água residual; AT, água total; MS, matéria seca; TF, temperatura da amostra ao final do processo de desidratação parcial. <sup>c</sup> GIN, gramíneas *in natura*; LIN, leguminosas *in natura*; SIL, silagens. <sup>d</sup> G, M e G × M, efeitos do grupo de forragens, método de desidratação parcial e sua interação, respectivamente. <sup>e</sup> Valores P referentes à comparação entre métodos de desidratação parcial dentro de cada grupo de forragens (aplicados no caso de interação significativa). <sup>f</sup> Médias na linha, dentro de cada grupo de forragens, seguidas por letras minúsculas diferentes diferem (P<0.05). <sup>g</sup> Médias na linha ou na coluna seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem (P<0.05). <sup>h</sup> g/kg de matéria natural. <sup>i</sup> g/kg de amostra seca ao ar. <sup>j</sup> °C.

**Tabela 5.** Concentração de compostos nitrogenados (g/kg matéria seca) em amostras de forragens de diferentes grupos submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
N	GIN	12,8a	12,3ab	12,2ab	11,3b	0,007	-	1,61			
	LIN	32,9a	32,2ab	30,3c	31,1bc	<0,001	-	1,80			
	SIL	10,2	9,9	9,7	9,7	0,55	-	1,61	<0,001	<0,001	0,024
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
NS	GIN	5,71a	4,77ab	3,54bc	3,17c	<0,001	-	0,885			
	LIN	11,78a	10,30b	7,33d	8,82c	<0,001	-	0,989			
	SIL	6,96a	6,37ab	5,70ab	5,52b	0,019	-	0,885	0,001	<0,001	0,003
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
NI	GIN	7,15	7,47	8,62	8,10	-	7,84B	0,962			
	LIN	21,12	21,92	23,08	22,32	-	22,10A	1,08			
	SIL	3,25	3,55	3,95	4,13	-	3,73C	0,962	<0,001	<0,001	0,51
	Média	10,51C	10,98BC	11,86A	11,52AB	-	-	-			
	EPM			0,595		-	-	-			

**Tabela 5.** Continuação

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
NNP	GIN	4,62	3,95	3,06	2,40	-	3,50B	0,834			
	LIN	9,34	8,53	6,83	6,85	-	7,89A	0,931			
	SIL	5,89	5,01	4,98	4,80	-	5,30AB	0,834	0,06	<0,001	0,19
	Média	6,61A	5,98A	4,96B	4,69B	-	-	-			
	EPM		0,539			-	-	-			
NP	GIN	8,26	8,30	9,10	8,85	-	8,62B	1,397			
	LIN	23,55	23,71	23,50	24,29	-	23,76A	1,317			
	SIL	4,32	4,43	4,67	4,83	-	4,56C	1,397	<0,001	0,11	0,77
	Média	12,04	12,14	12,14	12,66	-	-	-			
	EPM		0,539			-	-	-			
nNIDN	GIN	4,14a	4,04a	2,63ab	1,68b	0,009	-	0,769			
	LIN	12,88a	8,05b	4,81c	4,12c	<0,001	-	0,860			
	SIL	1,87	1,95	1,72	1,64	0,98	-	0,769	<0,001	<0,001	<0,001
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			

**Tabela 5.** Continuação

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
NSP	GIN	1,10	0,82	0,47	0,75	-	1,71A	0,176			
	LIN	2,43	1,78	0,66	1,97	-	0,79B	0,198			
	SIL	1,07	0,89	0,72	0,71	-	0,86B	0,176	0,003	<0,001	0,17
	Média	1,53A	1,17AB	0,62B	1,14AB	-	-	-			
	EPM			0,165		-	-	-			
NIDN	GIN	3,01b	3,44b	6,00a	6,43a	<0,001	-	0,826			
	LIN	8,24c	13,87b	18,19a	18,18a	<0,001	-	0,932			
	SIL	1,38	1,60	2,24	2,50	0,57	-	0,826	<0,001	<0,001	0,004
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
NIDA	GIN	0,74	0,88	1,22	1,18	0,88	-	0,560			
	LIN	2,37b	3,70b	4,40b	8,11a	<0,001	-	0,626			
	SIL	0,69	0,75	0,94	0,86	0,98	-	0,560	<0,001	<0,001	<0,001
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			

<sup>a</sup> L, liofilização; E, secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas; AF, secagem em *air fryer*. <sup>b</sup> NS, N solúvel; NI, N insolúvel; NNP, N não proteico; NP, N proteico; nNIDN, N insolúvel não ligado à parede celular; NSP, N solúvel proteico; NIDN, N insolúvel em detergente neutro; NIDA, N em detergente ácido. <sup>d</sup> G, M e G × M, efeitos do grupo de forragens, método de desidratação parcial e sua interação, respectivamente. <sup>e</sup> Valores P referentes à comparação entre métodos de desidratação parcial dentro de cada grupo de

forragens (aplicados no caso de interação significativa). <sup>f</sup> Médias na linha, dentro de cada grupo de forragens, seguidas por letras minúsculas diferentes diferem ( $P < 0.05$ ). <sup>g</sup> Médias na linha ou na coluna seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem ( $P < 0.05$ ).

**Tabela 6.** Concentração de compostos fibrosos (g/kg matéria seca) e digestibilidade *in vitro* (g/kg) em amostras de forragens de diferentes grupos submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
FDN	GIN	680c	684bc	715ab	750a	<0,001	-	33,7	0,006	<0,001	<0,001
	LIN	467c	520b	562a	590a	<0,001	-	37,6			
	SIL	617	605	620	638	0,063	-	33,7			
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
FDNp	GIN	661	662	678	709	-	678A	47,6	<0,001	<0,001	0,94
	LIN	416	433	448	475	-	443B	44,9			
	SIL	608	595	606	622	-	608A	47,6			
	Média	562B	563B	577B	602A	-	-	-			
	EPM			19,4							
FDA	GIN	384	384	381	395	0,64	-	24,9	0,50	<0,001	0,001
	LIN	334b	341b	310b	393a	<0,001	-	27,9			
	SIL	370	370	380	384	0,51	-	24,9			
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			

**Tabela 6.** Continuação

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
FDAP	GIN	380	378	373	387	0,50	-	24,1			
	LIN	319a	318a	283b	342a	<0,001	-	27,0			
	SIL	365	366	374	379	0,40	-	24,1	0,17	<0,001	0,006
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
LIG	GIN	38,7b	39,6b	43,7b	52,8a	<0,001	-	6,28			
	LIN	85,4b	93,3b	87,5b	114,2a	<0,001	-	7,03			
	SIL	54,5	56,3	59,9	63,2	0,054	-	6,28	<0,001	<0,001	<0,001
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
FDNi	GIN	192	198	203	194	-	197	23,9			
	LIN	241	254	244	264	-	251	26,7			
	SIL	248	259	247	251	-	251	23,9	0,20	0,10	0,20
	Média	227	237	232	237	-	-	-			
	EPM			4,6		-	-	-			

**Tabela 6.** Continuação

Variável <sup>b,h</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>				Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		L	E	M	AF				G	M	G × M
DIVMS	GIN	591a	583a	557a	555a	0,027	-	25,4	0,70	<0,001	<0,001
	LIN	602a	546b	507bc	501c	<0,001	-	28,4			
	SIL	565	560	560	560	0,97	-	25,4			
	Média	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-		-	-	-			
DIVFDN	GIN	508	495	492	495	-	498A	25,3	0,005	0,18	0,20
	LIN	379	328	379	372	-	364B	28,3			
	SIL	413	412	395	418	-	409AB	25,3			
	Média	434	412	422	428	-	-	-			
	EPM			16,4		-	-	-			

<sup>a</sup> L, liofilização; E, secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas; AF, secagem em *air fryer*. <sup>b</sup> FDN, fibra insolúvel em detergente neutro. FDNp fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para proteína; FDA, fibra insolúvel em detergente ácido; FDAp, fibra insolúvel em detergente ácido corrigida para proteína; LIG, lignina avaliada por hidrólise ácida; FDNi fibra em detergente neutro indigestível; DIVMS, digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVFDN, digestibilidade *in vitro* da FDN. <sup>c</sup> GIN, gramíneas *in natura*; LIN, leguminosas *in natura*; SIL, silagens. <sup>d</sup> G, M e G × M, efeitos do grupo de forragens, método de desidratação parcial e sua interação, respectivamente. <sup>e</sup> Valores P referentes à comparação entre métodos de desidratação parcial dentro de cada grupo de forragens (aplicados no caso de interação significativa). <sup>f</sup> Médias na linha, dentro de cada grupo de forragens, seguidas por letras minúsculas diferentes diferem (P<0.05). <sup>g</sup> Médias na linha ou na coluna seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem (P<0.05). <sup>h</sup> As concentrações de FDN e FDA corrigidas para proteína foram realizadas descontando-se as concentrações de NIDN e NIDA multiplicadas pelo fator 6,25, respectivamente.

**Tabela 7.** Avaliação colorimétrica em amostras de forragens de diferentes grupos *in natura* e após diferentes métodos de desidratação parcial

Variável <sup>b</sup>	Grupo <sup>c</sup>	Método de desidratação parcial <sup>a, f</sup>					Valor P <sup>e</sup>	Média <sup>g</sup>	EPM	Valor P <sup>d</sup>		
		IN	L	E	M	AF				G	M	G × M
L*	GIN	36,5c	55,7a	49,7b	47,2b	47,3b	<0,001	-	1,49			
	LIN	27,4c	39,1a	31,2b	28,3b	28,0bc	<0,001	-	1,67			
	SIL	37,8c	51,8a	49,4a	45,6b	44,7b	<0,001	-	1,49	<0,001	<0,001	<0,001
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-			-	-	-			
h°	GIN	103,8a	99,7ab	96,3b	89,3c	88,2c		<0,001	2,33			
	LIN	100,8a	95,8b	84,9c	80,7c	81,5c	-	<0,001	2,61			
	SIL	75,9a	79,1a	78,7a	76,3a	75,0a	-	0,030	2,33	<0,001	<0,001	<0,001
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-			
	EPM			-			-	-	-			

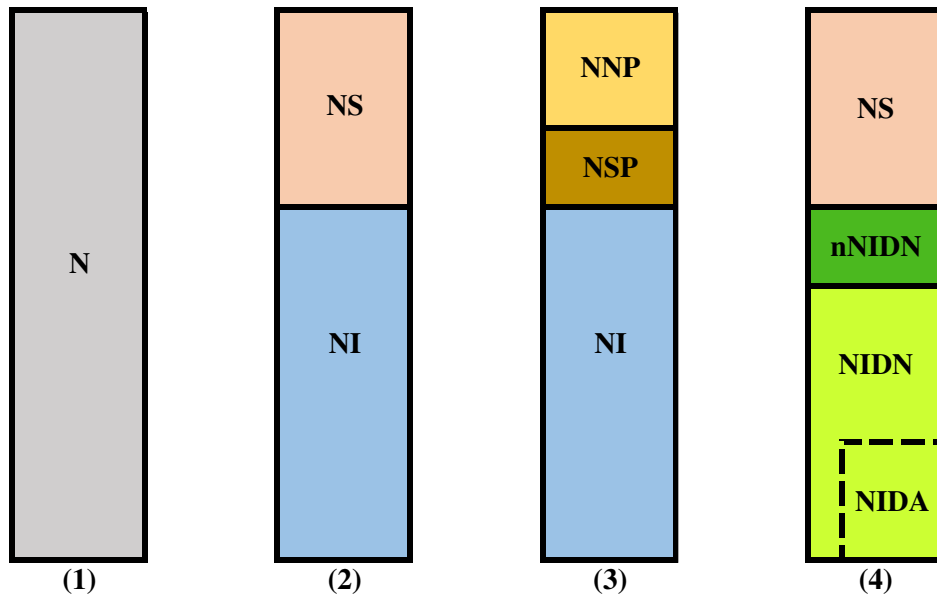
<sup>a</sup> IN, *in natura*; L, liofilização; E, secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas; AF, secagem em *air fryer*. <sup>b</sup> L\*, coeficiente de luminosidade; h°, ângulo hue. <sup>c</sup> GIN, gramíneas *in natura*; LIN, leguminosas *in natura*; SIL, silagens. <sup>d</sup> G, M e G × M, efeitos do grupo de forragens, método de desidratação parcial e sua interação, respectivamente.

<sup>e</sup> Valores P referentes à comparação entre métodos de desidratação parcial dentro de cada grupo de forragens (aplicados no caso de interação significativa). <sup>f</sup> Médias na linha, dentro de cada grupo de forragens, seguidas por letras minúsculas diferentes diferem (P<0.05). <sup>g</sup> Médias na linha ou na coluna seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem (P<0.05).

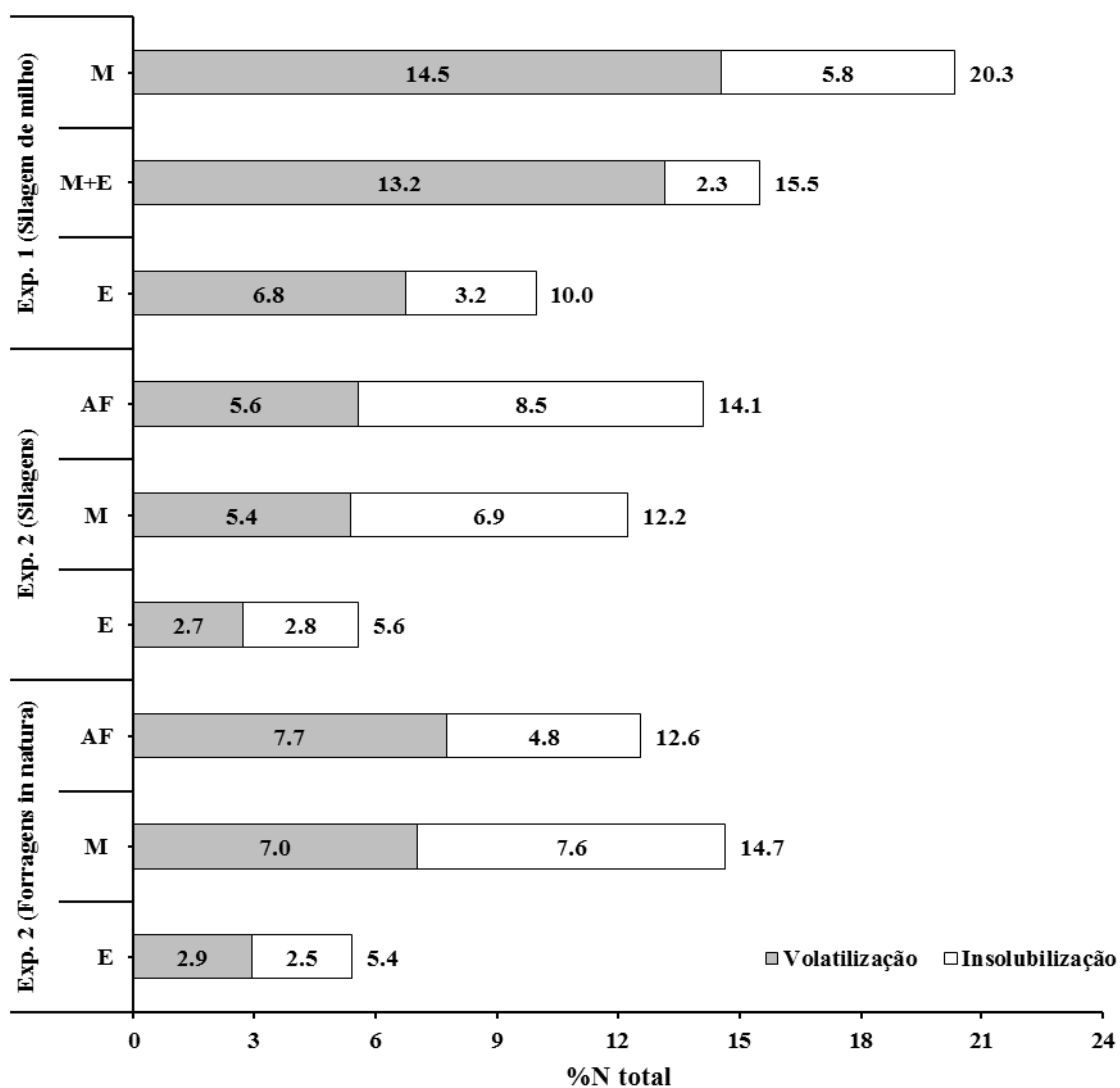
**Tabela 8.** Padrão de coloração de amostras de forragens de diferentes grupos submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial

Amostra <sup>c</sup>	Método <sup>a,b</sup>				
	IN	L	E	M	AF
1	103,81,49	155,130,94	139,118,84	128,105,71	119,97,68
2	106,83,52	128,109,80	131,109,78	126,98,64	126,101,69
3	94,73,45	136,110,75	130,108,76	113,90,59	126,102,71
4	103,78,43	137,117,86	133,110,78	122,96,62	122,99,69
5	132,103,67	164,139,106	150,126,98	158,132,102	125,124,91
6	125,98,62	143,124,97	134,114,87	123,99,72	134,107,77
7	118,98,64	151,134,106	148,132,103	150,130,97	132,111,81
8	117,94,58	139,120,89	140,121,90	133,111,77	129,107,76
9	89,68,47	117,93,70	115,91,65	107,83,58	109,83,60
10	90,68,48	130,106,79	116,92,66	107,83,58	91,69,50
11	92,87,57	135,126,97	124,113,86	121,106,80	112,96,70
12	124,104,71	169,145,107	149,126,95	145,120,89	140,114,81
13	97,94,66	142,137,107	144,131,104	147,134,103	150,130,97
14	74,77,50	128,127,100	111,109,84	101,91,68	108,98,71
15	87,88,59	128,127,100	124,117,85	121,108,77	132,118,83
16	87,85,51	133,123,94	111,102,77	106,92,66	108,96,68
17	69,73,45	136,136,107	114,114,87	112,105,78	121,115,83
18	81,88,52	136,136,105	133,130,99	124,116,87	127,116,83
19	88,85,52	130,118,86	116,109,82	119,107,79	117,101,72
20	89,88,52	143,140,106	115,109,81	122,111,82	121,109,80
21	80,71,51	94,80,58	83,68,48	82,66,49	81,66,46
22	70,71,53	110,108,84	100,88,68	95,86,69	101,93,74
23	56,56,46	81,76,52	60,54,41	66,51,35	53,44,36
24	69,74,54	104,105,79	83,77,56	60,55,40	86,77,54
25	71,70,48	96,93,68	88,77,56	83,70,49	79,64,45
26	63,57,42	100,89,64	72,60,45	73,59,42	68,58,42
27	68,57,40	101,84,61	84,71,51	82,67,48	77,61,43
28	72,71,49	97,94,67	94,84,59	84,72,50	69,62,43

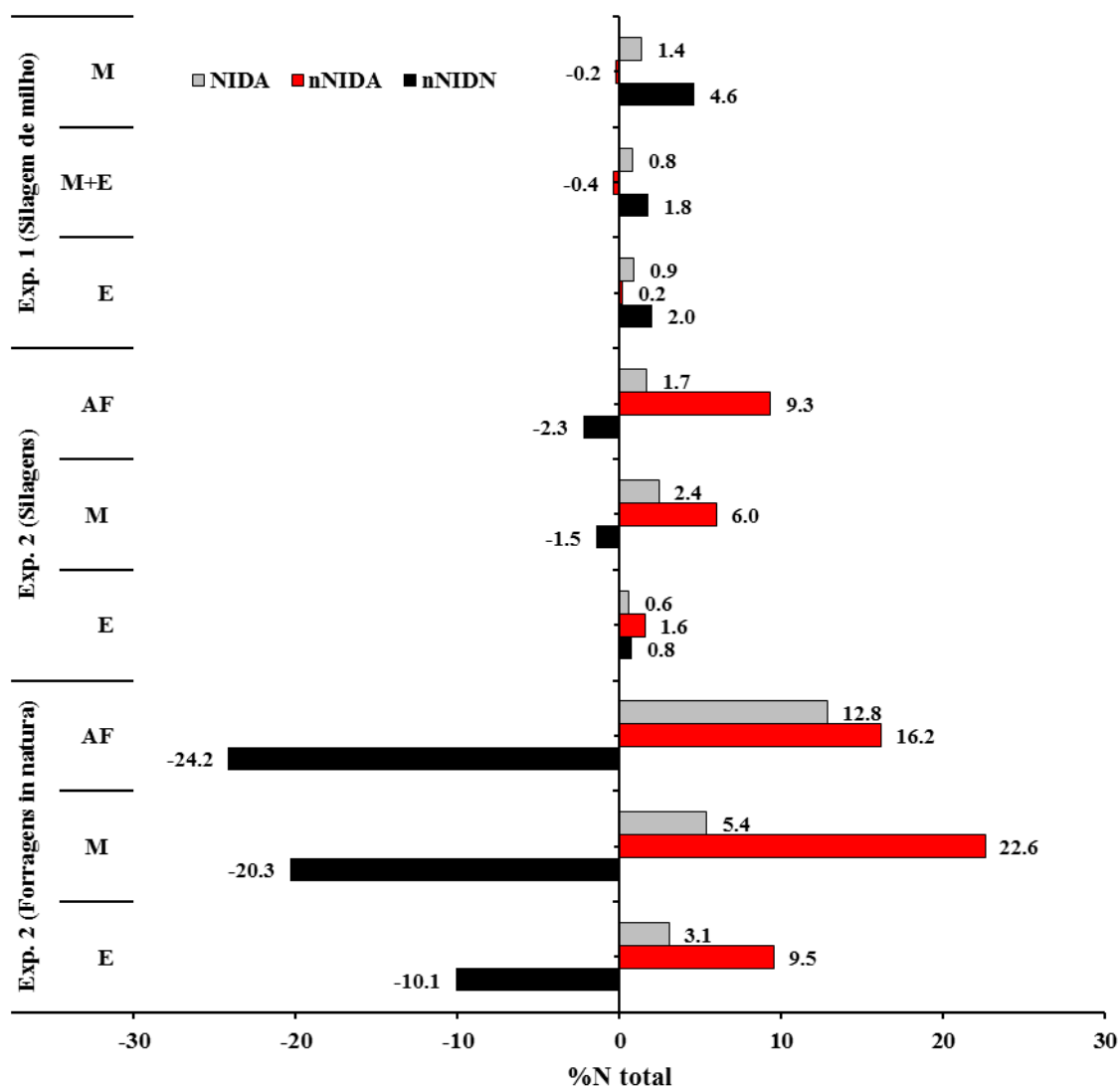
<sup>a</sup> IN, *in natura*; L, liofilização; E, secagem em estufa; M, secagem em micro-ondas; AF, secagem em *air fryer*. <sup>b</sup> Os valores indicados correspondem às coordenadas RGB. <sup>c</sup> 1-4, silagem de milho; 5-6, silagem de cana; 7-8, silagem de capim elefante; 9-10, silagem de sorgo; foi composto por amostras de silagem de milho (n=4), silagem de cana de açúcar (n=2), silagem de sorgo (n=2) e silagem de capim elefante (n=2); 11, Tifton 85; 12 *Saccharum* sp.; 13 *P. purpureum*; 14, *U. decumbens*; 15, *U. brizantha* cv. Marandu; 16, *C. dactylon*; 17, *M. maximus* cv. BRS Zuri; 18, *M. maximus* cv Mombaça; 19, *U. humidicola* cv Quicuí; 20, *M. maximus* cv Massai; 21, *A. Pinto*; 22, *C. canjan*; 23, *L. leucocephala*; 24, *G. sepium*; 25, *L. purpureus*; 26, *P. phaseoloides*; 27, *S. guanensis* cv. Mineirão, e 28, *N. wightii*.



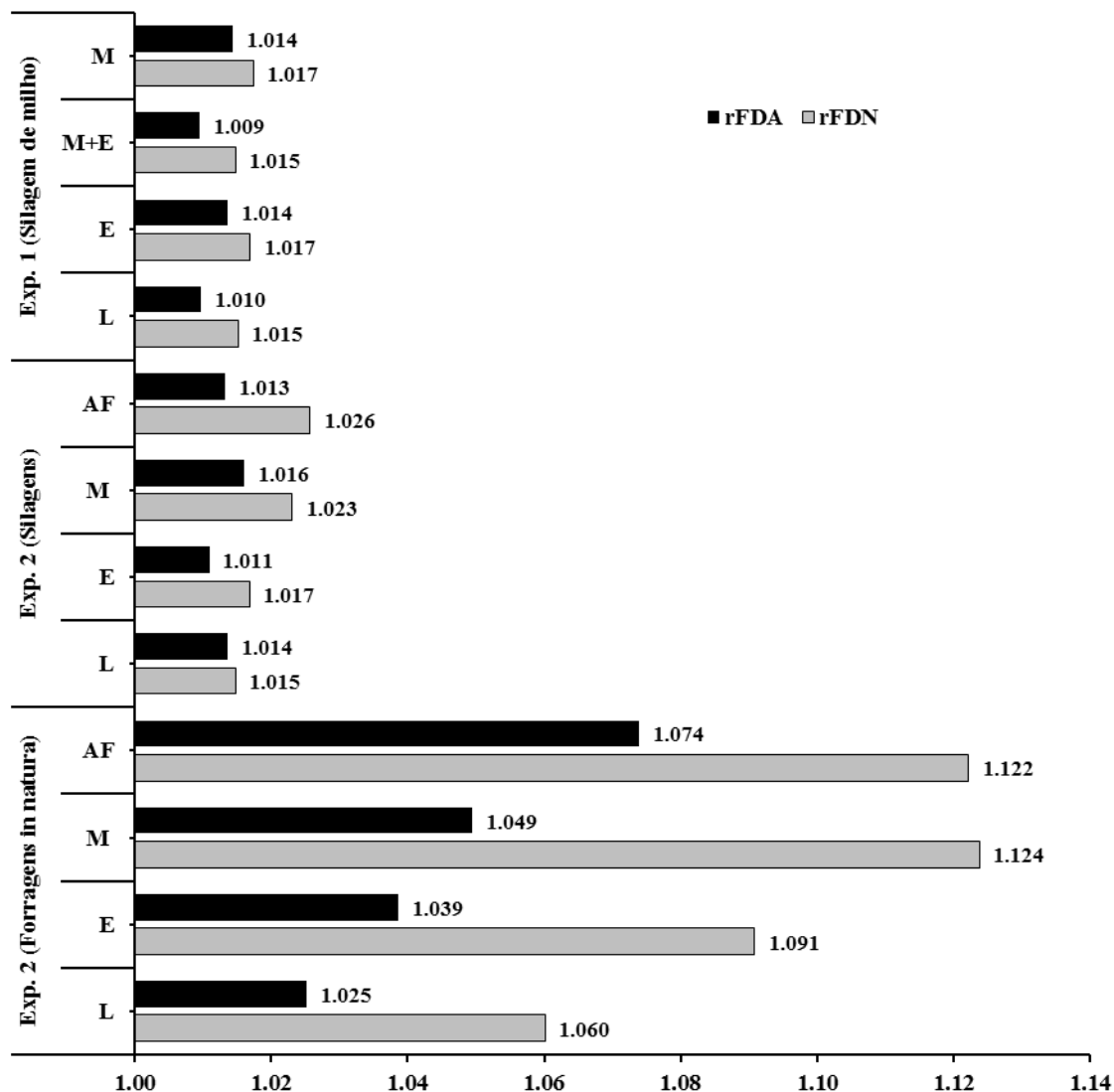
**Figura 1.** Representação esquemática dos procedimentos de fracionamento dos compostos nitrogenados [(1): N, nitrogênio total; (2) fracionamento quanto à solubilidade: NS, N solúvel; NI, N insolúvel; (3) fracionamento da fração solúvel: NNP, N não proteico; NSP, N solúvel proteico; (4) fracionamento da fração insolúvel: nNIDN, N insolúvel não associado à parede celular; NIDN, N insolúvel em detergente neutro; NIDA, N insolúvel em detergente ácido].



**Figura 2.** Modificação total dos compostos nitrogenados em amostras de forragens submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial tendo como referência a desidratação parcial por liofilização (E, secagem em estufa; M+E, secagem em estufa com aquecimento prévio em micro-ondas; M, secagem em micro-ondas; AF secagem em *air fryer*).



**Figura 3.** Modificação total das frações dos compostos nitrogenados insolúveis em amostras de forragens submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial tendo como referência a desidratação parcial por liofilização (E, secagem em estufa; M+E, secagem em estufa com aquecimento prévio em micro-ondas; M, secagem em micro-ondas; AF secagem em *air fryer*; nNIDN, N insolúvel não associado à parede celular; nNIDA, N insolúvel em detergente neutro, mas solúvel em detergente ácido; NIDA, N insolúvel em detergente ácido).



**Figura 4.** Relação entre as concentrações de FDN e FDA obtidas sem e com a correção para contaminação proteica em amostras de forragens submetidas a diferentes métodos de desidratação parcial (L, liofilização; E, secagem em estufa; M+E, secagem em estufa com aquecimento prévio em micro-ondas; M, secagem em micro-ondas; AF secagem em *air fryer*).



**Figura 5.** Exemplos de entraves ocasionados pelo uso de *air fryer* no processo de desidratação parcial de amostra de forragens.