



## Sensoriamento proximal aplicado ao algoritmo SAFER para estimativa de massa de forragem em sistema silvipastoril

Samira Luns Hatum de Almeida<sup>1</sup>, Jarlyson Brunno Costa Souza<sup>1</sup>, José Ricardo Macedo Pezzopane<sup>2</sup>, Sandra Furlan Nogueira<sup>3</sup>, Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>4</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brazil.

<sup>2</sup>Embrapa Meio Ambiente, Campinas, SP, Brasil.

<sup>3</sup>Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade Federal de Sergipe, SE, Brasil.

**Abstract.** Forage mass availability directs herd sizing, based on this, the aim of this study was to evaluate a method to estimate pasture mass in a silvopastoral system, through proximal sensing applied to the Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER). For this, forage collections were carried out, as well as the collection of climatic data and reflectance data with a proximal sensor. The data served as input for SAFER and then regression models were generated between pasture variables and SAFER results. SAFER was able to express forage behavior in a promising way, and allowed the creation of an estimation model with high precision for silvopastoral system.

**Resumo.** A Disponibilidade de massa de forragem direciona o dimensionamento do rebanho, com base nisso, objetivou-se com este estudo avaliar método para estimar a massa de pastagem em sistema silvipastoril, por meio de sensoriamento proximal aplicado ao modelo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER). Para isso, foram realizadas coletas de forragem, assim como coleta de dados climáticos e dados de refletância com sensor proximal. Os dados serviram de input para o SAFER e em seguida foram gerados modelos de regressão entre as variáveis da pastagem e os resultados do SAFER. O SAFER foi capaz de expressar de forma promissora o comportamento da forragem, e permitiu a criação de um modelo de estimativa com alta precisão para sistema silvipastoril.

## 1. Introdução

Fundamental para os processos de gerenciamento e tomada de decisão na pecuária, a estimativa de biomassa da forragem, funciona também como um importante indicativo do grau de degradação das pastagens. Sendo assim, é uma ferramenta relevante para a implementação de projetos que prezam pela recuperação dessas áreas e por uma produção agropecuária sustentável (Andrade et al., 2016).

Existem diferentes processos que permitem a obtenção da massa forrageira, um deles denominado método do disco medidor. A partir do método em questão são realizadas medidas de altura da forragem que posteriormente serão utilizadas em uma equação de calibração, possibilitando assim quantificar a produção forrageira. Outro método também baseado na altura das plantas consiste na utilização de uma régua graduada (Dufloth et al., 2015). Em ambos os métodos, as amostras de pastagem coletadas são secas em estufa e pesadas, processos que demandam mão-de-obra e exigem tempo.

Diante dos diferentes métodos de estimativa de biomassa e a complexidade de sua execução, o sensoriamento remoto surge como uma alternativa potencial para a obtenção desta estimativa. Por meio do sensoriamento remoto é possível gerar informações de um alvo sem que haja contato direto com este, facilitando assim que culturas sejam monitoradas, inclusive em grandes extensões territoriais.

Tratando-se do sistema de produção animal silvipastoril, as estimativas são um desafio ainda maior, diante do componente arbóreo que dificulta a utilização de sensores remotos orbitais. Com isso, torna-se necessário buscar alternativas que considerem apenas o comportamento espectral da forragem e nesse sentido os sensores proximais apresentam alto potencial. Estes dados de refletância, quando aliados a variáveis climáticas podem ser aplicados em modelos capazes de estimar a evapotranspiração, como o modelo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving - SAFER (Teixeira et al., 2013). Ao gerar os dados de evapotranspiração, torna-se possível por meio deste, estimar a massa da vegetação, conforme realizado por Andrade et al. (2016) com pastagens na Bacia Hidrográfica do Alto Tocantins.

O SAFER é um algoritmo para obtenção da evapotranspiração real baseado na equação de Penman-Monteith (Silva, 2018). A evapotranspiração é estimada por meio de parâmetros biofísicos aliados a dados de estações agrometeorológicas, não exigindo dados de classificação das culturas e física de radiação (Teixeira, 2012). Além disso, outra importante vantagem do SAFER é não necessitar de informações de bandas termais, fato que possibilita o emprego de uma gama de sensores (Teixeira et al., 2013).

Diante do exposto, o sensoriamento remoto proximal mostra-se uma ferramenta com alto potencial de estimativa da massa de forragem em sistemas com restrições, como o silvipastoril. Desta forma, pressupondo-se que o sensoriamento proximal aliado ao uso de dados climáticos possa ser usado na estimativa de massa de forragem, objetivou-se avaliar o potencial do sensoriamento proximal aplicado ao modelo SAFER na estimativa de *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *brizantha* cv. Piatã em sistemas de produção animal silvipastoril.

## 2. Material e Métodos

### 2.4. Área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brazil (21°57' S, 47°50'W, 860 m), região caracterizada com clima Cwa (Koppen). O sistema de produção animal avaliado foi o silvipastoril (SILV), também denominado integração pecuária-floresta (iPF). A área encontrava-se cultivada com pastagem de *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *brizantha* cv. Piatã, em pastejo rotacional, e eucalipto. As árvores de eucalipto foram plantadas com orientação próxima a leste-oeste em espaçamento de 15 × 2 m, em fileiras únicas.

A área foi pastejada por machos castrados da raça Canchim, com lotação ajustada de acordo com a massa forrageira no pré-pastejo. O período de ocupação foi de 6 dias, enquanto o de repouso foi de 30 dias.

### 2.2. Aquisição de dados

Foram realizadas coletas em quatro ciclos completos de crescimento da forragem, de setembro de 2015 a janeiro de 2016, sendo três coletas por ciclo, próximas ao 15°, 22° e 30° dia após o final do pastejo. Em cada coleta, a forragem era amostrada em 4 níveis de sombreamento, espaçadas em 3,75m.

Os dados climáticos de entrada do modelo SAFER, foram obtidos a partir de estação meteorológica instalada na área de estudo. Para a aquisição dos dados espectrais da forragem, utilizou-se o ACS-430 Crop Circle (Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA). O sensor em questão é ativo, capta a refletância nos comprimentos de onda das regiões do vermelho, borda do vermelho e infravermelho próximo.

O sensor foi posicionado a 0,7 m da forragem, e coletou informações de uma área de 4m<sup>2</sup> em cada ponto. Da parte central, numa moldura de 0,5 x 0,5 m a amostra de forragem foi coletada para aferição do modelo SAFER, pelo método direto. As amostras de massa foram pesadas e tiveram uma subamostra retirada para avaliação morfológica, e outra para análise de matéria seca, obtida após secagem em estufa por 72 h, a 65 °C. De posse da matéria seca e composição morfológica foram calculadas a massa seca total (MST), massa seca de folha + caule (MSfc) e massa seca foliar (MSf) em kg ha<sup>-1</sup>. O índice de área foliar (LAI) foi determinado a partir dos dados de massa seca foliar e medidor de área foliar modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, NE, USA).

### 2.3. Modelo de estimativa de massa de forragem

Para a obtenção do acúmulo de massa de forragem, o modelo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving), capaz de estimar a relação de evapotranspiração, foi aplicado de forma combinada ao modelo de eficiência de uso de radiação de Monteith (RUE). A variável estimada foi tratada como massa verde (MV), em referência a massa com água, uma vez que o modelo emprega variáveis inerentes ao processo de evapotranspiração e o NDVI.

Para isso, dados espectrais e climáticos foram utilizados como entrada para o modelo SAFER. Inicialmente, com base na refletância nos comprimentos de onda do vermelho ( $\alpha$ ), borda do vermelho ( $\alpha_1$ ), e infravermelho próximo ( $\alpha_2$ ), estimou-se o albedo de superfície ( $\alpha_0$ )

$$\alpha_0 = b\alpha + c\alpha_1 + d\alpha_2 + e\alpha_3 + f\alpha_4 \quad (1)$$

Em que:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  são as refletâncias nos comprimentos de onda do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.  $b, c, d$  e  $e$  são coeficientes de regressão.

$$NDVI = \frac{(\alpha_4 - \alpha_3)}{(\alpha_4 + \alpha_3)} \quad (2)$$

Os dados climáticos, assim como NDVI e albedo foram utilizados na obtenção das radiações da atmosfera, líquida, e refletida, para em seguida, calcular a radiação de onda longa emitida pela superfície cultivada. De posse destes dados foi calculada a relação de evapotranspiração (Equação 3) e em seguida estimada a massa forrageira diária (MVD) (Equação 4)

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp[a_{sf} + b_{sf} \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI}\right)] \quad (3)$$

Em que:  $a_{sf}$  e  $b_{sf}$  são coeficientes de regressão,  $T_0$  a temperatura de superfície.

$$MVD = \sum \left( \varepsilon_{\max} \frac{ET}{ET_0} APAR 0.864 \right) \quad (4)$$

Em que:  $\varepsilon_{\max}$  - máxima eficiência do uso da radiação. Para o capim Piatã foi utilizado  $\varepsilon_{\max} = 2.31 \text{ gMJ}^{-1}$  (Bosi et al., 2020).

Os resultados de MVD ((kg ha<sup>-1</sup>), estes foram somados, de modo a obter a estimativa de massa de forragem condizente aos dias de coleta (MV).

## 2.4. Análise estatística

A partir dos dados coletados em campo foi realizado uma análise de outliers, com o método de resíduos padronizados, em que valores menores que -2 e maiores que +2 eram eliminados do conjunto de dados. Em sequência, aplicou-se o teste de Shapiro Wilk, em que foi possível observar a não normalidade dos dados. Aplicou-se a correlação de Spearman a 1% de probabilidade.

Modelos de regressão linear foram gerados para cada um dos sistemas entre os dados estimados pelo modelo SAFER e as variáveis da pastagem coletadas in situ. Para treinamento dos modelos foi utilizado 80% do total dos dados, e 20% para a etapa de validação. Para avaliar o desempenho dos dados obtidos a partir do SAFER na estimativa de massa de forragem, os dados estimados após essa etapa foram

confrontados com os dados observados, por meio de gráfico de performance,  $R^2$ , raiz do erro quadrático médio (RMSE) e, erro relativo (ER)

### 3. Resultados

A relação entre massa verde estimada e as variáveis da pastagem coletadas em campo (massa seca total, massa seca de folha e colmo, massa seca de folha e índice de área foliar) encontram-se representadas por meio de correlograma (Figura 1). Verificou-se forte correlação entre a massa verde estimada e as variáveis da pastagem *in situ*, com destaque para a massa seca de folha e colmo (0.903). As variáveis índice de área foliar e massa seca de folha apresentaram correlação de aproximadamente 0.9 com os resultados obtidos a partir do modelo SAFER.

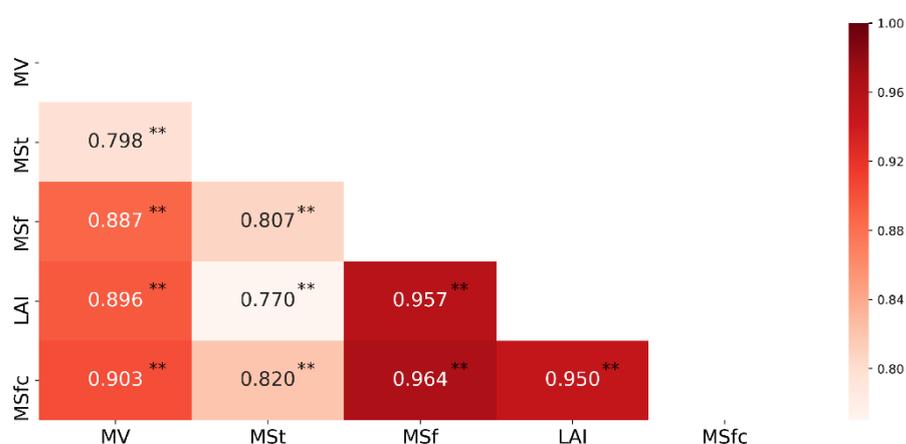


Figura 1. Correlograma entre massa verde estimada (MV) e as variáveis da pastagem *in situ* (massa seca total – MSt; massa seca de folha – MSf; massa seca de folha e colmo – MSfc; e índice de área foliar – LAI).

Na Figuras 2 são demonstradas as relações entre os dados observados e os preditos para os sistemas silvipastoril. Das variáveis avaliadas, o modelo obtido a partir da massa seca de folha e colmo (MSfc – Figura 2C) destacou-se por ter a reta ajustada e os valores de predição mais próximos a linha 1:1, com maior precisão expressa por  $R^2$  de 0.88 e maior acurácia, com erro relativo de 15.19%. No modelo em questão, o erro quadrático médio foi de 290.32 kg ha<sup>-1</sup>. O nível de sombreamento SILV3 e SILV1 foram os que apresentaram maiores erros de predição, e o SILV2, menor erro. O modelo utilizando massa seca de folha (MSf – Figura 7B) também apresentou bons resultados, tendo  $R^2$  de 0.71, porém com Er de 24.76%.

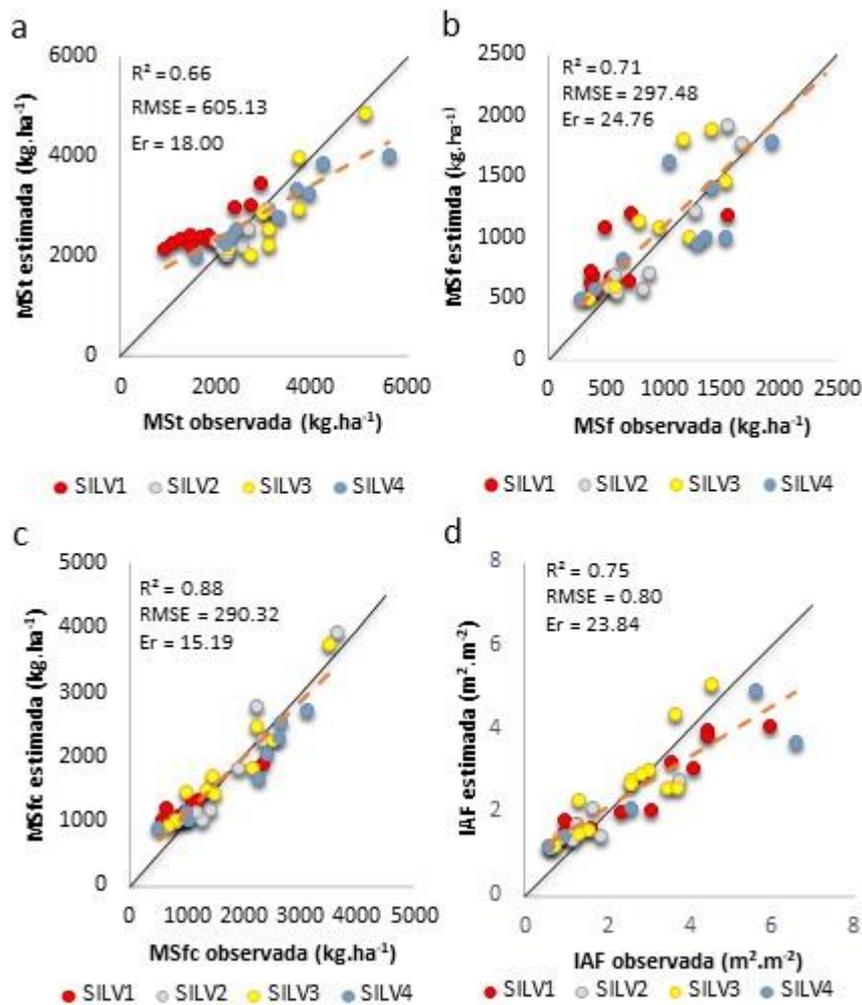


Figura 2. Relação entre variáveis observadas e estimadas de pastagem de capim Piatã em sistema silvipastoril. A – Massa seca total (MSSt); B – Massa seca de folhas (MSf); C – Massa seca de folha e colmo (MSfc); D – Índice de área foliar (LAI).

#### 4. Discussão

Os modelos criados com massa verde calculada a partir de SAFER mostraram-se propícios à estimativa de parâmetros da pastagem, em especial, da massa de folha e colmo. A definição da taxa de lotação animal baseada em folhas e colmo é vantajoso, uma vez que desconsidera o material morto da forragem, fator limitante a qualidade da forragem com menor valor nutritivo (Pullanagari and Yule, 2017). Os bons resultados obtidos neste estudo podem ser relacionados ao fato de o SAFER ter como *input*, variáveis altamente associadas à processos bioquímicos da planta como radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar, evapotranspiração de referência, e eficiência máxima da cultura, além de albedo da superfície e índice de vegetação da diferença normalizada, oriundos do comportamento espectral da vegetação (Carneiro et al., 2020, Teixeira et al., 2013).

O algoritmo SAFER já foi aplicado para estimativa de forragem com sensoriamento orbital, entretanto, os dados estimados não foram confrontados com dados reais de campo (Andrade et al., 2016). Isso exposto, trabalho é de grande relevância e de caráter

inovador, uma vez que confronta os dados estimados pelo SAFER com dados reais para pastagem.

A opção pelo sensor proximal foi feita considerando a disposição da forragem no sistema silvipastoril. A presença do componente arbóreo, neste caso o eucalipto, influenciaria no valor de reflectância do pixel caso fossem utilizadas imagens de satélite com acesso gratuito, causando mistura espectral entre a brachiaria e o eucalipto, o que levaria a erros de estimativa. Outro fator importante, é a intenção de facilitar a disseminação do método e torná-lo o mais usual possível. Por não gerar imagens que exigem conhecimento para processamento e interpretação, a aplicação passa a ser mais simples, possibilitando que inclusive produtores menos tecnificados consigam aplicá-lo.

## 5. Conclusão

O modelo SAFER mostrou-se um método rápido e promissor de estimativa de forragem, principalmente da massa de folhas e colmos. A integração dos dados espectrais proximais e climáticos, conforme proposto pelos modelos adotados, mostrou-se eficiente para estimativa de *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *brizantha* cv. Piatã no sistema de produção animal silvipastoril, independentemente do nível de sombreamento.

## Referências

- Andrade, R.G., Teixeira, A.H.D.C., Leivas, J.F., Nogueira, S.F. (2016) “Analysis of evapotranspiration and biomass in pastures with degradation indicatives in the Upper Tocantins River Basin, in Brazilian Savanna”. *Revista Ceres*, 63(6), 754-760.
- Carneiro, F.M., Angeli Furlani, C.E., Zerbato, C., Menezes, P.C., Gírio, L.A.S., Oliveira, M.F. (2020) “Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors”. *Precision Agric* 21, 979–1007.
- Dufloth, J.H., Back, A.J., Passos, R. (2015) “ Estimativa da produção de pasto através de dois métodos indiretos: Régua (altura) e Disco Medidor (densidade)”. *Agropecuária Catarinense*, 28(1), 83-86.
- Pullanagari, R.R.; Kereszturi, G.; Yule, I.J. (2017) “Quantification of dead vegetation fraction in mixed pastures using aisafenix imaging spectroscopy data”. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 58, 26–35.
- Silva, Y.D.F.D. (2018) “Uso do algoritmo SAFER para evapotranspiração real na cultura da soja”. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, 57 p.
- Teixeira, A.H.C. (2012) “Modelling Evapotranspiration by Remote Sensing Parameters and Agrometeorological Stations”. In. *Remote Sensing and Hydrology*; Neale, C.M.U.; Cosh, M.H., Eds.: IAHS Publ. 352; IAHS, Wallingford, UK, 154-157.
- Teixeira, A.H.C.; Scherer-Warren, M.; Hernandez, F.B.T.; Andrade, R.G.; Leivas, J.F. (2013) “Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study”. *Remote Sensing*, 5, 5783-5804.