



## Análise do potencial de Angola para a instalação de centrais termoelétricas a biomassa vegetal\*

*Analysis of Angola's potential for the installation of biomass power plants*

Oloiva Sousa<sup>1</sup> , Maria Raquel Lucas<sup>2</sup> , José Aranha<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Centro de Estudos Transdisciplinares para o Desenvolvimento (CETRAD), Vila Real, Portugal. E-mail: oloiva@gmail.com

<sup>2</sup>Centro de Estudos e Formação Avançada em Gestão e Economia (CEFAGE), Évora, Portugal. E-mail: mrlucas@uevora.pt

<sup>3</sup>Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), Vila Real, Portugal. E-mail: j\_aranha@utad.pt

**Como citar:** Sousa, O., Lucas, M. R., & Aranha, J. (2023). Análise do potencial de Angola para a instalação de centrais termoelétricas a biomassa vegetal. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(spe), e277511. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.277511>

**Resumo:** O aumento da produção de energia elétrica com base em combustíveis fósseis conduz ao aumento de gases com efeito estufa e a originar conflitos devido ao aquecimento global. Por estes motivos, também é crescente o número de estudos relativos a fontes alternativas de energia sustentável. A biomassa florestal pode ser uma importante fonte de combustível para unidades produtoras de energia, como sejam as centrais termoelétricas. Vários estudos, em Portugal, demonstraram que a quantidade anual de resíduos agroflorestais pode constituir uma fonte alternativa de combustível para as centrais termoelétricas. Ainda que a produção agroflorestal e pecuária, em Angola, seja diferente da praticada em Portugal, a produção de resíduos agroflorestais e a forma de os aproveitar segue os mesmos princípios. O objetivo do presente trabalho é o de estimar, através do processamento de imagens do satélite MODIS, a disponibilidade em biomassa florestal e identificar locais com potencial para a instalação de centrais termoelétricas a biomassa vegetal. O trabalho foi desenvolvido em ambiente de sistemas de informação geográfica e deteção remota. As imagens MODIS permitiram calcular o índice de vegetação NDVI e estimar a biomassa existente recorrendo a formulários anteriormente apresentados por outros autores. Através de técnicas de álgebra cartográfica, introduziram fatores condicionantes à instalação das centrais, como sejam a morfologia do terreno, a proximidade à rede viária e a proximidade a reservas naturais. Os resultados obtidos mostram que Angola possui um potencial em biomassa florestal que permite instalar até 17 centrais de 11 GWh-1, sendo que 12 se localizam próximo da atual rede elétrica de alta tensão ou em situação de ligação direta à rede. Destas 12, 4 estão próximas das atuais centrais elétricas hídricas, pelo que poderão funcionar em complemento de produção. Os resultados também mostram que as fazendas dedicadas à produção florestal se localizam próximo das zonas de ação das centrais e da rede ferroviária. Assim, os resíduos de exploração florestal que estas fazendas geram poderão ser comercializados como combustível para estas centrais. Também as fazendas dedicadas à produção agrícola se localizam próximo das potenciais centrais, pelo que poderão usar a energia produzida e vender os seus resíduos vegetais como combustível.

**Palavras-chave:** Angola, biomassa florestal, energias alternativas, SIG, imagens de satélite.

\* X Congresso da APDEA e IV Encontro Lusófono em Economia, Sociologia, Ambiente e Desenvolvimento Rural, Coimbra-Portugal, de 14 a 16 de setembro de 2022.



**Abstract:** The increase in electricity production based on fossil fuels leads to an increase in greenhouse gases and social conflicts due to global warming. For these reasons, the research on alternative sources of sustainable energy is also increasing. Forest biomass can be an important fuel source for energy producing, such as in thermoelectric power plants. Previous research in Portugal have demonstrated that the annual amount of agroforestry residues can be an alternative source of fuel for thermoelectric plants. Although agroforestry and livestock production in Angola is different from that practiced in Portugal, the production of agroforestry residues and the way to use them follows the same principles. The main aim of the present research is to estimate, through MODIS satellite images processing and classification, the availability of forest biomass and to identify potential places for thermoelectric power plants installation. The work was derived in of geographic information systems and remote sensing environment. The MODIS images made it possible to calculate the NDVI vegetation index and estimate the existing biomass using forms previously presented by other authors. Through cartographic algebra techniques, they were introduced conditioning factors for the power plants installation, such as the terrain morphology, the proximity to the road network and the proximity to nature reserves. The achieved results shown that Angola has a potential in forestry biomass that allows the installation of up to 17 plants of 11 GWh-1, 12 of which are located close to the current high voltage electrical network or in a situation of direct connection to the network. Of these 12, 4 are close to actual hydroelectric power plants, so they can work in addition to production. The results also shown that the farms dedicated to forestry production are located close to the power plants buffer zones as well the railway network. Thus, the residues of forest exploitation, that these farms generate, can be marketed as fuel for these power plants. The farms dedicated to agricultural production are also located close to the potential plants, so they can use the energy produced and sell their vegetable residues as fuel.

**Keywords:** Angola, forest biomass, alternative energies, GIS, satellite images.

## 1. Introdução

O presente artigo tem como objetivo caracterizar o território Angolano em termos de existência de biomassa florestal e identificar locais com aptidão à instalação de centrais termoelétricas a biomassa florestal. Cada uma destas centrais poderá usar biomassa florestal e biomassa agrícola, servindo como centro de recolha e valorização de resíduos agroflorestais.

O crescente aumento no consumo de energia elétrica tem conduzido a um aumento na sua produção com recurso a combustíveis fósseis. Esta situação está a conduzir a um aumento da produção de gases com efeito estufa (GGE) e a originar conflitos sociais devido ao aquecimento global (GWE). Por estes motivos, também é crescente o número de estudos relativos a fontes alternativas de energia sustentável (Berndes et al., 2003; Gustavsson et al., 2007). A biomassa florestal pode ser uma importante fonte de combustível para unidades produtoras de energia, como sejam as centrais termoelétricas a biomassa (Cosic et al., 2011; Fernandes & Costa, 2010; Viana et al., 2010; Voivontas et al., 2001). Vários estudos, em Portugal, demonstraram que a quantidade de resíduos de origem agrícola e florestal gerados anualmente podem constituir uma fonte alternativa de combustível para alimentar centrais termoelétricas para a produção de energia (Enes et al., 2019a; Enes et al., 2019b; Enes et al., 2020). Ainda que a produção agro-florestal e pecuária, em Angola, seja diferente da praticada em Portugal, a produção de resíduos agro-florestais e a forma de os aproveitar segue os mesmos princípios e as mesmas valências.

A biomassa agrícola resulta das podas e das partes verdes resultantes da separação do grão do suporte (*e.g.*, grão de soja e vagem, arroz e espiga) (Kiš et al., 2009) e a biomassa florestal resulta de resíduos florestais (pontas e ramos) e de arbustos (Viana & Ferreira, 2005; Wulder et al., 2008). No entanto, esses resíduos florestais podem ser recolhidos e usados como combustível para produção de energia elétrica em centrais termoelétricas

(Agência Portuguesa do Ambiente, 2011; Grupo Portucel Soporcel, 2007; Mateos & González, 2010; Associação de Energias Renováveis, 2007). A energia elétrica produzida apenas por combustão simples tem uma eficiência de apenas 25% a 30%, uma vez que 70% a 75% se perde em vapor de água e ar quente (Viana et al., 2010). No entanto, processos alternativos, como pirólise e gaseificação, frequentemente usados em alguns países da UE, podem melhorar a eficiência elétrica em 33% ou até 50% (Breeze, 2004; Faaij, 2006). O rendimento da combustão de biomassa em centrais termoelétricas pode subir até 80% a 100%, se o vapor de água e o ar quente forem usados em indústrias associadas, como seja a produção de pellets ou briquetes, ou fornecimento de edifícios (*e.g.*, hospitais, complexos desportivos, etc.), que podem valorizar biomassa florestal, ampliar a área das atuações de fábricas e estimular a indústria.

De acordo com a revisão da literatura (Agência Portuguesa do Ambiente, 2011; Portal das Energias Renováveis, 2019; Viana et al., 2010), em média, uma central termoelétrica funciona 8000 horas por ano e requer 8200 t/ano de biomassa florestal (30% de humidade) para produzir 1 MW/h de energia elétrica. Dessa forma, uma central com capacidade de produção de 11 MW precisará de 90200 t/ano de biomassa florestal para funcionar plenamente.

O uso combinado de medições de campo, imagens de satélite e modelação em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para análise da cobertura florestal e estimativa de biomassa, é uma metodologia amplamente utilizada (Aranha et al., 2008; Asner, 1998; Chirici et al., 2007; Huete, 1988; Kelly, 2001; Lu, 2006; Muukkonen & Heiskanen, 2005; Peichl & Arain, 2006; Riaño et al., 2007; Scally, 2006; Suganuma et al., 2006; Viana et al., 2009; Wulder et al., 2008; Yang, 2007; Zheng et al., 2007).

O site Earth Resources Observation and Science (EROS) (USGS, 2021; NASA, 2021; & LPDAAC, 2021) fornece imagens MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) gratuitas, regulares e pontuais, que podem ser transformadas num índice de vegetação (*e.g.*, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI - ou Índice de Vegetação Aumentado - Enhanced Vegetation Index - EVI) (Huete, 1988; Huete et al., 1997; Huete et al., 2002; Lopes et al., 2009; Viana et al., 2012), o que permite analisar alterações à cobertura do solo bem como estimar a quantidade de biomassa produzida e acumulada (Aranha et al., 2008; Muukkonen & Heiskanen, 2005; Riaño et al., 2007; Wijaya et al., 2010). Os valores de NDVI e/ou de EVI podem, por análise de regressão, ser transformados em Produção Primária Líquida (em inglês NPP - Net Primary Production) ou em quantidades de biomassa (Aranha et al., 2020; Baccini et al., 2008; Liu et al., 2017).

A revisão da literatura sobre o uso de SIG combinado com Deteção Remota para estimar a quantidade de biomassa florestal (Botequim et al., 2015; Cohen et al., 2001; Deng et al., 2011; Nguyen & Nguyen, 2016) mostra diferentes abordagens na estimativa e mapeamento de biomassa e apresenta alguns modelos de regressão de que permitem estimar a quantidade de biomassa com base em índices de vegetação (Chen et al., 2018; Filella et al., 2004; Norovsuren et al., 2019; Roy & Ravan, 1996; Xiao & Moody, 2005).

Atendendo a este volume de biomassa, de modo a minimizar o impacto ambiental desta recolha de biomassa, calculou-se que se deveria usar uma área de influência (*buffer*) de 30 Km em torno da localização da Central Termoelétrica (Viana et al., 2010), a que corresponde uma área de 282744ha. A identificação de potenciais áreas a explorar foi calculada com base nas características morfológicas do terreno, concretamente o declive, na distância às estradas e às picadas bem como à distribuição espacial da biomassa florestal. Também se considerou como condições limitantes a proximidade a massas de água e a áreas ou parques protegidos. Estas condicionantes foram estudadas de modo a minimizar os potenciais riscos de erosão e de desertificação que pudessem advir da sobre-exploração de biomassa local.

## 2. Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido para a República de Angola, país da África Austral. Este país africano apresenta uma área de 1 247 000 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 32,87 milhões de habitantes (censos de 2020) [Wikipedia]. Mais de metade da população reside em Luanda ou nos seus arredores. À parte da produção de petróleo, da exploração de ferro e de diamantes, as principais atividades produtivas de Angola são no setor primário: produção agrícola (café, cereais, oleaginosas, arroz, etc.), produção florestal e produção animal.

Toda a informação tratada e processada neste capítulo foi descarregada gratuitamente da internet. Toda a informação foi tratada e processada em ambiente SIG, usando o sistema de coordenadas WGS 84 UTM 33S.

A definição dos limites geográficos da área de estudo consistiu no limite territorial de Angola, resultante da divisão administrativa do país, como se apresenta na Figura 1.

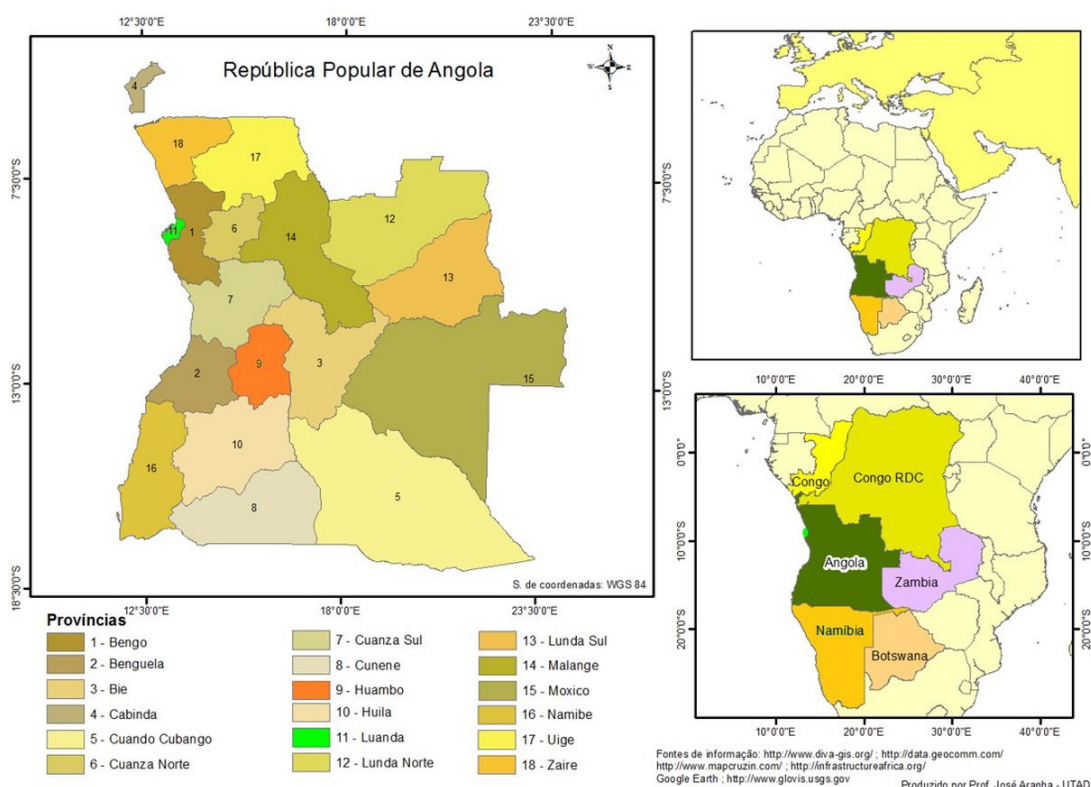


Figura 1 - localização geográfica de República de Angola

### Primeira fase – Tratamento de imagens de satélite

Utilizou-se um conjunto de imagens de satélite MODIS de 2022 para calcular o NDVI (Rouse Junior et al., 1973) e o EVI (Huete & Justice, 1999), como processo de cálculo intermédio para estimar a quantidade de biomassa existente. Este índice foi cruzado com a carta de uso e ocupação do solo, de modo a ser possível associar os valores de NDVI aos diversos tipos de ocupação florestal e a estimar a quantidade de biomassa existente.

$$NDVI = (IV - V) / (IV + V) \quad (1)$$

$$EVI = G [(IV - V) / (IV + CIV - C2A + L)] \tag{2}$$

Sendo:

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

EVI - Enhanced Vegetation Index

IV - Infravermelho (banda da imagem de satélite)

L - Constante = 1,0

Após o processamento e a classificação das imagens de satélite MODIS, procedeu-se à caracterização das manchas florestais e das manchas de mato e à sua quantificação em termos de biomassa:

Árvores, arbustos e herbáceas (Roy & Ravan, 1996)

$$Biomassa(kg / ha) = 73709,92 - 48420,44 NDVI + 67242,43 NDVI \tag{3}$$

Mato (Chen et al., 2018)

$$Biomassa(kg / ha) = 46,678 Id brilho + 7,929RVI + 32,565 \tag{4}$$

Mato (Norovsuren et al., 2019)

$$Biomassa(kg / m2) = 0.18363 + 0.85669NDVI \tag{5}$$

Fracção de vegetação verde (Filella et al., 2004)

$$Biomassa(kg / m2) = 0.114 + 1.284 NDVI (R2 = 0.89) \tag{6}$$

### Segunda fase – Cálculo das condicionantes à exploração florestal

Utilizou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) para estudar e analisar a variação altimétrica e para calcular a Carta de Declives, peça base a utilizar no cálculo das condicionantes à exploração florestal. Esta informação foi reclassificada em termos de condicionantes, usando os códigos apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Classes de limitação resultantes do declive

Classe de Declive (graus)	Condicionantes à exploração	Código
> 12,5	Limitação severa	5
10,0 e 12,5	Limitação elevada	4
7,5 e 10,0	Limitação moderada	3
5 e 7,5	Limitação baixa	2
< 5	Sem limitação	1

Fonte: Adaptado de Portugal et al. (2003).

Para calcular as condicionantes relativas à proximidade à rede viária, utilizou-se a Carta Rodoviária de Angola e um processo de cálculo de equidistâncias euclidianas a um objeto. Posteriormente, esta informação foi reclassificada em termos de condicionantes, usando os códigos apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Classes de limitação resultantes da distância à rede viária e divisional

Distância às estradas (m)	Condicionantes à exploração	Código
> 16000	Limitação severa	5
12000 - 16000	Limitação elevada	4
8000 - 12000	Limitação moderada	3
4000 e 8000	Limitação baixa	2
< 4000	Sem limitação	1

Fonte: Adaptado de Portugal et al. (2003).

Através da concatenação da figura de condicionantes derivada do declive e da figura de condicionantes derivada da distância à rede viária, criou-se a carta de condicionantes gerais à exploração florestal. Este resultado foi, posteriormente, reclassificado em termos de condicionantes gerais, usando os códigos apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Classes de limitação resultantes declives e distância à rede viária e divisional

Declive   Distância	< 4000	4000-8000	8000-12000	12000-16000	> 16000
> 12,5	Média	Baixa	Baixa	M. baixa	Nula
10,0 e 12,5	Média	Média	Baixa	M. baixa	M baixa
7,5 e 10,0	Elevada	Média	Média	Baixa	Baixa
5 e 7,5	Elevada	Elevada	Média	Média	Média
< 5	M. elevada	M. elevada	Elevada	Média	Média

Declive calculado em graus e distância calculada em metros.

Esta Carta de Acessibilidade/Condicionantes à Exploração de Biomassa Florestal foi, por sua vez, usada para identificar os locais com aptidão à instalação de Centrais Termoelétricas a biomassa florestal.

### Terceira fase – Atualização do projeto SIG com a rede de infraestruturas e com as empresas agrárias que integram o modelo de estudo

Posteriormente, de modo a perceber a relação entre a potencial localização de centrais termoelétricas a biomassa e a atual rede de elétrica e a rede ferroviária, atualizou-se o projeto SIG com informação cedida pelo Governo da República Popular de Angola.

Também se atualizou o projeto com localização geográfica das empresas agrárias que integram o modelo de estudo.

Desta forma, criou-se um conjunto de informação que nos permitiu analisar a relação espacial entre a rede elétrica, a rede ferroviária e as unidades de produção agrária.

### 3. Apresentação e Discussão dos Resultados

Após o processamento das imagens de satélite MODIS, criou-se a Carta de cobertura vegetal (NDVI) para o território da República de Angola (Figura 2) e Carta de biomassa florestal (Figura 3).

De modo a minimizar efeitos nefastos sobre os ecossistemas tropicais que, devido às condições edafo-climáticas, são muito frágeis, e como forma de evitar a sobre-exploração dos locais mais acessíveis que conduz inevitavelmente a fenómenos de erosão e de desertificação, criou-se uma carta de aptidão à recolha de biomassa que excluísse as reservas florestais, as zonas protegidas em redor das massas de água permanentes, que se apresenta na Figura 4.

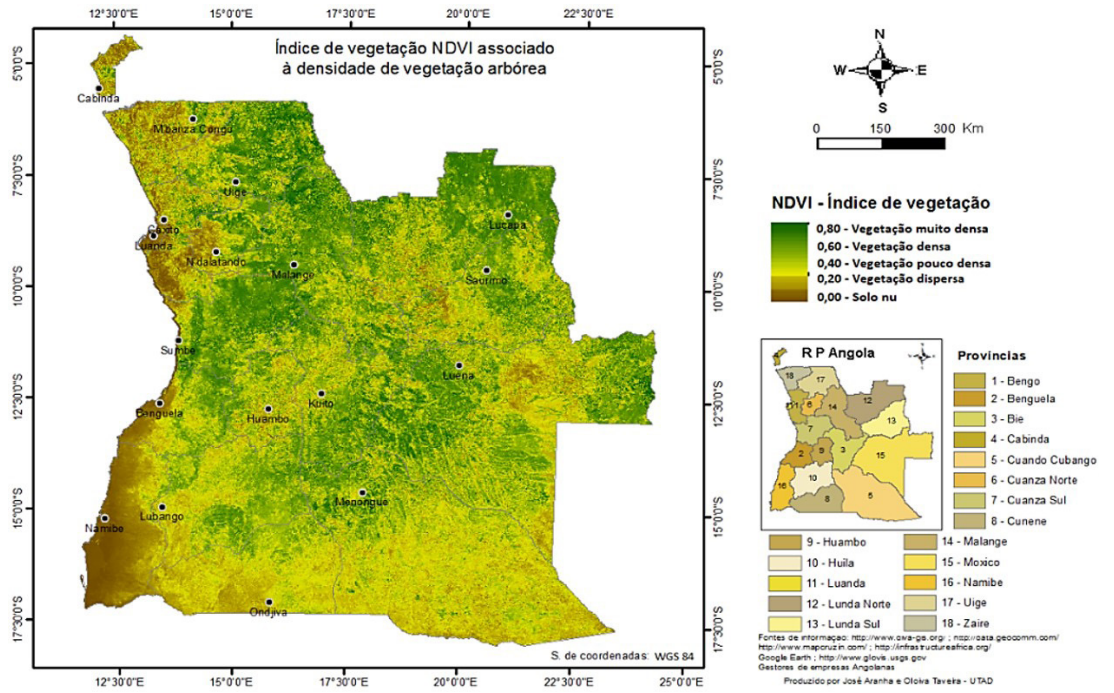


Figura 2 - Carta de cobertura vegetal

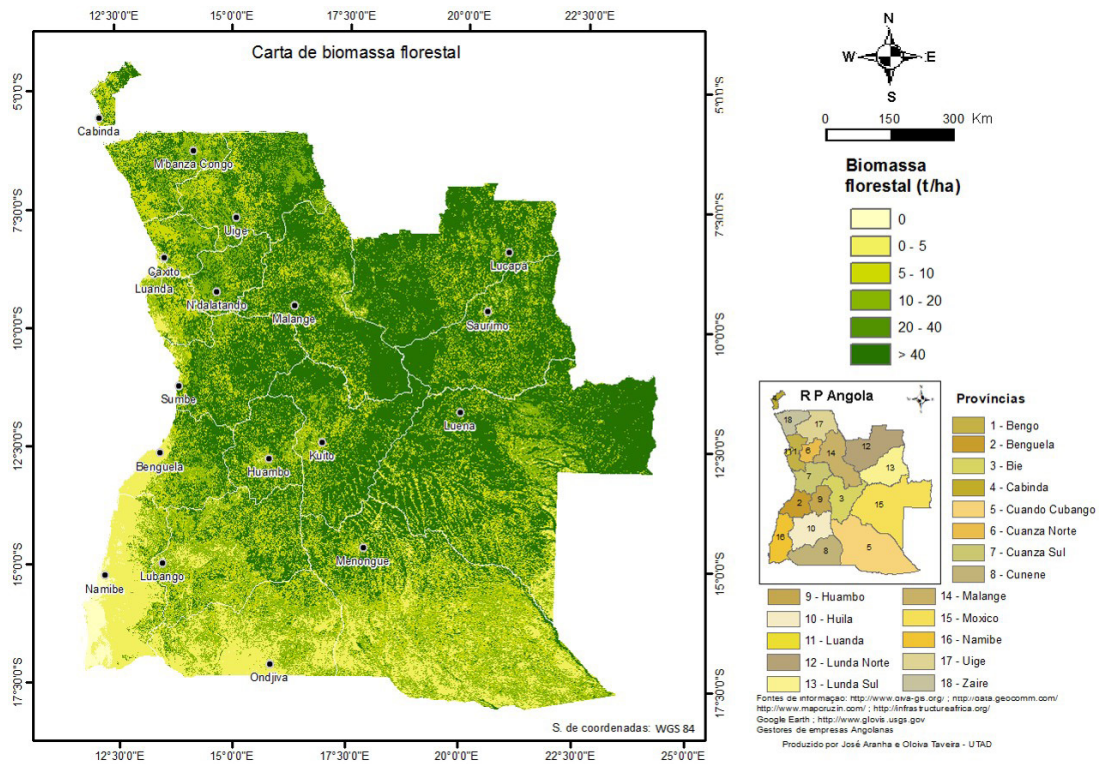


Figura 3 - Carta de biomassa florestal

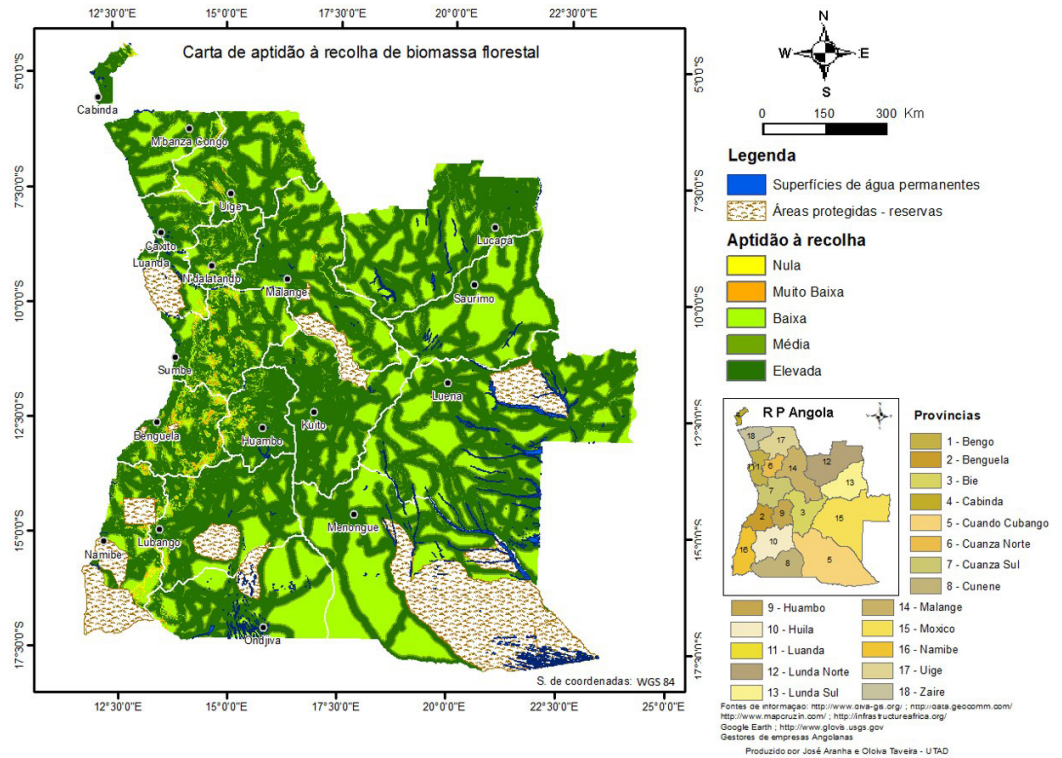


Figura 4 - Carta de aptidão à recolha de biomassa florestal

Após aplicar uma rotina de álgebra cartográfica às matrizes referentes à disponibilidade em biomassa florestal (Figura 3) e à aptidão à recolha (Figura 4), criou-se a Carta de localização potencial de centrais termoelétricas a biomassa vegetal (Figura 5).

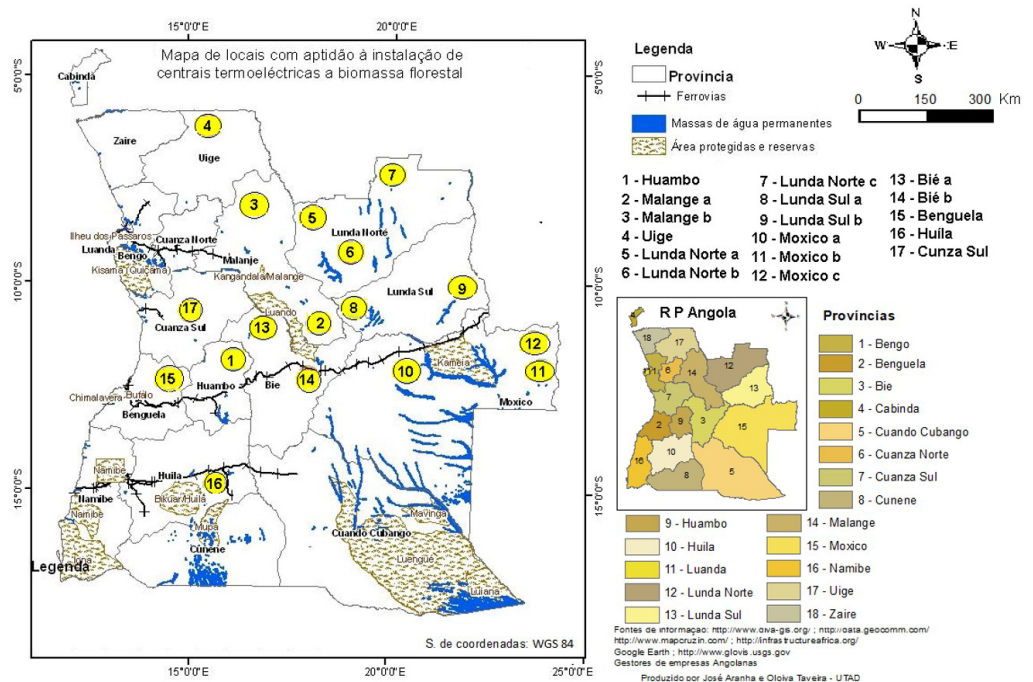


Figura 5 - Locais com potencial para a instalação de centrais termoelétricas



Os resultados obtidos mostram que Angola possui um potencial em biomassa florestal que permite instalar até 17 centrais de 11 GWh-1, sendo que 12 se localizam próximo da atual rede elétrica de alta-tensão ou em situação de ligação direta à rede. Destas 12, 4 estão próximas das atuais centrais elétricas hídricas, pelo que poderão funcionar em complemento de produção (Figura 6).

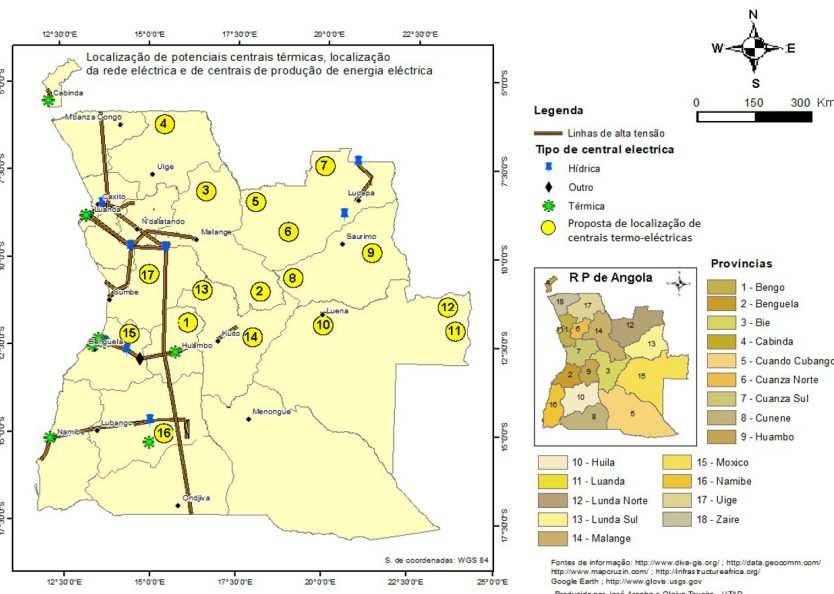


Figura 6 - Relação entre a localização das centrais e a rede de infraestruturas elétricas

Os resultados também mostram que as fazendas dedicadas à produção florestal se localizam próximo das zonas de ação das centrais e da rede ferroviária (Figura 7).

Assim, os resíduos de exploração florestal que estas fazendas geram poderão ser comercializados como combustível para estas centrais. Também as fazendas dedicadas à produção agrícola se localizam próximo das potenciais centrais, pelo que poderão usar a energia produzida e vender os seus resíduos vegetais como combustível.

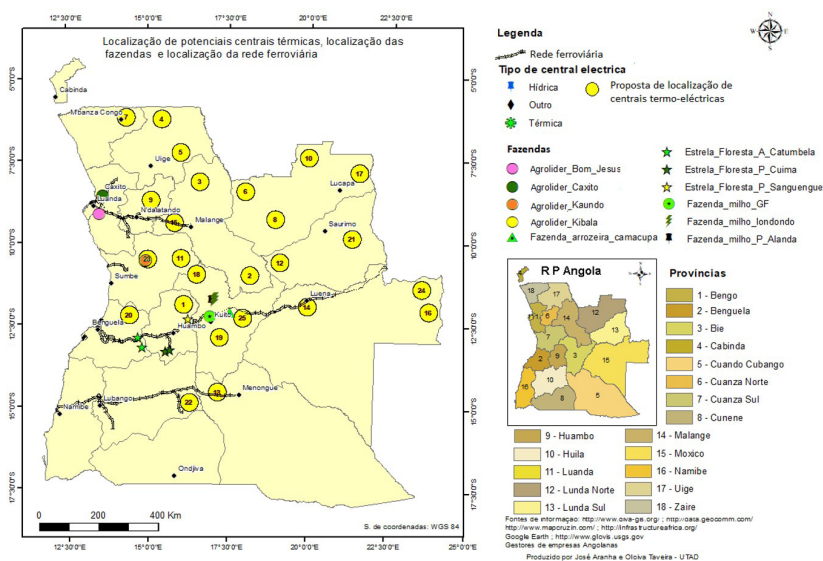


Figura 7 - Relação entre a localização das centrais, as explorações e a ferrovia

#### 4. Conclusões

As características morfológicas e edafo-climáticas de Angola criam condições ecológicas adequadas à existência de uma forte cobertura florestal em muitas zonas do território. A conjugação entre este potencial natural para suportar a cobertura verde e as características da atual rede elétrica e da rede ferroviária mostram que é possível instalar até 17 centrais termoelétricas a biomassa vegetal com capacidade para produzir até 11 GWh-1. Como 12 destas centrais se localizam próximo da atual rede elétrica de alta-tensão ou em situação de ligação direta à rede, este resultado aponta para um potencial produtivo de 132 GWh-1 de energia. Atendendo a que destas 12 centrais, 4 estão próximas das atuais centrais elétricas hídricas, pelo que poderão funcionar em complemento de produção, o que significa que seria viável o desenvolvimento, a curto prazo, de um conjunto de centrais de reforço, que contribuiria para um aumento de produção de 44 GWh-1.

Relativamente ao potencial das explorações agrárias para suportar e justificar a instalação local de unidades de produção de energia elétrica, apenas uma poderia concorrer a esse tipo de projeto. A maior parte das explorações agrárias não produz resíduos verdes em quantidade suficiente que justifique o investimento numa unidade local de produção de energia elétrica.

Os resultados também mostram que as fazendas dedicadas à produção florestal se localizam próximo das zonas de ação das centrais e da rede ferroviária. Assim, os resíduos de exploração florestal que estas fazendas geram poderão ser comercializados como combustível para estas centrais.

Também as fazendas dedicadas à produção agrária se localizam próximo das potenciais centrais, pelo que poderão usar a energia produzida e vender os seus resíduos vegetais como combustível.

#### Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos UIDB/04033/2020, UIDB/04007/2020 e UIDB/04011/2020. O financiamento foi ainda concedido pela FCT – Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato de investigação PRT/BD/152094/2021 a Oloiva Maria Tavira da Silva e Sousa.

#### Referências

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2011). *Atlas digital do ambiente*. Recuperado em 21 de maio de 2021, de <https://sniamb.apambiente.pt/>
- Aranha, J. T., Viana, H. F., & Rodrigues, R. (2008, abril 6-9). Vegetation classification and quantification by satellite image processing. A case study in north Portugal. In *Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy* (pp. 1-8). Guimarães: Universidade do Minho.
- Aranha, J., Enes, T., Calvão, A., & Viana, H. (2020). Shrub biomass estimates in former burnt areas using sentinel 2 images processing and classification. *Forests*, 11(5), 555.
- Asner, G. P. (1998). Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64(3), 234-253.
- Associação de Energias Renováveis. (2007). *Energias renováveis em Portugal*. Recuperado em 21 de maio de 2021, de <https://www.apren.pt/>
- Baccini, A., Laporte, N., Goetz, S. J., Sun, M., & Dong, H. (2008). A first map of Tropical Africa's above-ground biomass derived from satellite imagery. *Environmental Research Letters*, 3(4), 45011-45019.

- Berndes, G., Hoogwijk, M., & van den Broek, R. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25(1), 1-28.
- Botequim, B., Zubizarreta-Gerendiain, A., Garcia-Gonzalo, J., Silva, A., Marques, S., Fernandes, P. M., Pereira, J. M., & Tomé, M. (2015). A model of shrub biomass accumulation as a tool to support management of portuguese forests. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 8, 114-125.
- Breeze, P. (2004). *The future of global biomass power generation. The technology, economics and impact of biomass power generation*. Eagan: Reuters Business Insights Ltd.
- Chen, W., Zhao, J., Cao, C., & Tian, H. (2018). Shrub biomass estimation in semi-arid sandland ecosystem based on remote sensing technology. *Global Ecology and Conservation*, 16, e00479.
- Chirici, G., Barbati, A., & Maselli, F. (2007). Modelling of Italian forest net primary productivity by the integration of remotely sensed and GIS data. *Forest Ecology and Management*, 246, 285-295.
- Cohen, W. B., Maier-sperger, T. K., Spies, T. A., & Oetter, D. R. (2001). Modelling forest cover attributes as continuous variables in a regional context with Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2279-2310.
- Cosic, B., Stanic, Z., & Duic, N. (2011). Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: case study Croatia. *Biomass and Bioenergy*, 36(4), 2017-2028.
- Deng, S., Shi, Y., Jin, Y., & Wang, L. (2011). A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: a case study. *Energy Procedia*, 5, 1535-1545.
- Enes, T., Aranha, J., Fonseca, T., Matos, C., Barros, A., & Lousada, J. (2019a). Residual agroforestry biomass: thermochemical properties. *Forests*, 10(12), 1072.
- Enes, T., Aranha, J., Fonseca, T., Lopes, D., Alves, A., & Lousada, J. (2019b). Thermal properties of residual agroforestry biomass of northern Portugal. *Energies*, 12(8), 1418.
- Enes, T., Lousada, J., Fonseca, T., Viana, H., Calvão, A., & Aranha, J. (2020). Large scale shrub biomass estimates for multiple purposes. *Life*, 10(4), 33.
- Faaij, A. P. (2006). Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*, 34(3), 322-342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.026>.
- Fernandes, U., & Costa, M. (2010). Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 661-666.
- Filella, I., Peñuelas, J., Llorens, L., & Estiarte, M. (2004). Reflectance assessment of seasonal and annual changes in biomass and CO<sub>2</sub> uptake of a Mediterranean shrubland submitted to experimental warming and drought. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 308-318.
- Grupo Portucel Soporcel. (2007, julho 3). *Grupo Portucel Soporcel assina protocolo de colaboração de recolha e tratamento de biomassa no distrito de Aveiro*. Recuperado em 21 de maio de 2021, de [http://www.thenavigatorcompany.com/var/ezdemo\\_site/storage/original/application/72f4de6a28b96a4e9a9930cb3014ebdc.pdf](http://www.thenavigatorcompany.com/var/ezdemo_site/storage/original/application/72f4de6a28b96a4e9a9930cb3014ebdc.pdf)
- Gustavsson, L., Holmberg, J., Dornburg, V., Sathre, R., Eggers, T., Mahapatra, K., & Marland, G. (2007). Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. *Energy Policy*, 35(11), 5671-5691.
- Huete, A. R. (1988). A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.

- Huete, A. R., & Justice, C. (1999). *MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document (version 3)*. Recuperado em 21 de maio de 2021, de [https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440-451.
- Huete, A., Didana, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213.
- Kelly, N. M. (2001). Changes to the landscape pattern of coastal North Carolina wetlands under the Clean Water Act, 1984-1992. *Landscape Ecology*, 16(1), 3-16.
- Kiš, D., Sučić, B., Guberac, V., Voća, N., Rozman, V., & Šumanovac, L. (2009). Soybean biomass as a renewable energy resource. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74(3), 201-203.
- Liu, S., Cheng, F., Dong, S., Zhao, H., Hou, X., & Wu, X. (2017). Spatiotemporal dynamics of grassland aboveground biomass on the Qinghai-Tibet Plateau based on validated MODIS NDVI. *Scientific Reports*, 7, 1-10.
- Lopes, D. M., Aranha, J. T., Walford, N., O'Brien, J., & Lucas, N. (2009). Accuracy of remote sensing data versus other sources of information for estimating Net Primary Production in Eucalyptus globulus and Pinus pinaster ecosystems in Portugal. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 35(1), 37-53.
- LP DAAC. (2021). Recuperado em 5 de maio de 2021, de <http://lpdaac.usgs.gov>
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation: review article. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1297-1328.
- Mateos, E., & González, J. (2010). Biomass utilisation in energy process. *Renewable Energy & Power Quality Journal*, 1(8), 1514-1518.
- Muukkonen, P., & Heiskanen, J. (2005). Estimating biomass for boreal forest using ASTER satellite data combined with standwise forest inventory data. *Remote Sensing of Environment*, 99, 434-447.
- NASA. (2021). Recuperado em 5 de maio de 2021, de <http://reverb.echo.nasa.gov>
- Nguyen, H. K., & Nguyen, B. N. (2016). Mapping biomass and carbon stock of forest by remote sensing and GIS technology at Bach Ma National Park, Thua Thien Hue province. *Journal of Vietnamese Environment*, 8(2), 80-87.
- Norovsuren, B., Tseveen, B., Batomunkuev, V., & Renchin, T. (2019). Estimation for forest biomass and coverage using Satellite data in small scale area, Mongolia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 320, 012019.
- Peichl, M., & Arain, M. A. (2006). Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 140(1-4), 51-63.
- Portal das Energias Renováveis. (2019). Recuperado em 5 de maio de 2021, de [https://www.energiasrenovaveis.com/Area.asp?ID\\_area=2](https://www.energiasrenovaveis.com/Area.asp?ID_area=2)
- Portugal, A., Teixeira, A., Anastácio, D., Ribeiro, D., Salinas, F., Louro, G., Marques, H., & Gardete, J. (2003). *Princípios de boas práticas florestais*. Recuperado em 5 de maio de 2021, de <https://www.icnf.pt/api/file/doc/e550b62b6b44f397>
- Riaño, D., Chuvieco, E., Ustin, S. L., Salas, J., Rodríguez-Pérez, J. R., Ribeiro, L. M., Viegas, D. X., Moreno, J. M., & Fernández, H. (2007). Estimation of shrub height for fuel-type mapping combining airborne LiDAR and simultaneous color infrared ortho imaging. *International Journal of Wildland Fire*, 16(3), 341-348.

- Rouse Junior, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., & Deering, D. W. (1973, dezembro 10-14). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In *Proceedings of the Third ERTS Symposium* (pp. 309-317). Oak Ridge: Scientific and Technical Information Office/National Aeronautics and Space Administration.
- Roy, P. S., & Ravan, S. A. (1996). Biomass estimation using satellite remote sensing data: an investigation on possible approaches for natural forest. *Journal of Biosciences*, 21(4), 535-561.
- Scally, R. (2006). *GIS for environmental management*. São José dos Campos: ESRI Press.
- Suganuma, H., Abe, Y., Taniguchi, M., Tanouchi, H., Utsugi, H., Kojima, T., & Yamada, K. (2006). Stand biomass estimation method by canopy coverage for application to remote sensing in an arid area of Western Australia. *Forest Ecology and Management*, 222(1), 75-87.
- USGS. (2021). *GloVis*. Recuperado em 5 de maio de 2021, de <https://glovis.usgs.gov/app>
- Viana, H., & Ferreira, J. (2005). *Wood energy resources. Module 5. A self-study educational e-learning module of Wood Energy Supply System Training (WESST) project*. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior Agrária de Viseu (ESAV) - Millenium.
- Viana, H., Aranha, J., Lopes, D., & Cohen, W. B. (2012). Estimation of crown biomass of Pinus pinaster stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. *Ecological Modelling*, 226(10), 22-35.
- Viana, H., Cohen, W. B., Lopes, D., & Aranha, J. (2010). Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood fired power plants in Portugal. *Applied Energy*, 87(8), 2551-2560.
- Viana, H., Lopes, D., & Aranha, J. (2009). Predição de biomassa arbustiva lenhosa empregando dados de inventário e o índice de diferença normalizada extraído em imagens Landsat 5 TM. *Millenium - Journal of Education, Technologies, and Health*, 37, 1-7.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., & Koukios, E. G. (2001). Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, 20, 101-112.
- Wijaya, A., Kusnadi, S., Gloaguen, R., & Heilmeyer, H. (2010). Improved strategy for estimating stem volume and forest biomass using moderate resolution remote sensing data and GIS. *Journal of Forestry Research*, 21(1), 1-12.
- Wulder, M. A., White, J. C., Fournier, R. A., Luther, J. E., & Magnussen, S. (2008). Spatially explicit large area biomass estimation: Three approaches using forest inventory and remotely sensed imagery in a GIS. *Sensors*, 8(1), 529-560.
- Xiao, J., & Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, 98(2-3), 237-250.
- Yang, X. (2007). Integrated use of remote sensing and geographic information systems in riparian vegetation delineation and mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 28(2), 353-370.
- Zheng, G., Chen, J. M., Tian, Q. J., Jub, W. M., & Xia, X. Q. (2007). Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping. *Journal of Environmental Management*, 85(3), 616-623.

**Recebido:** Maio 20, 2023.

**Aceito:** Setembro 20, 2023.

**JEL Classification:** Q18; Q19.