

## **ESTOQUES DE CARBONO E BIOMASSA NO SEMIÁRIDO BAIANO (1973 A 2019)**

Carlos Magno Santos **Clemente**<sup>1</sup>, Alecir Antonio Maciel **Moreira**<sup>2</sup>

(1 – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC / MG, carlosmagno.clemente@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1087-5228>, 2 – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC / MG, alecirmoreira@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6107-9782>)

**Resumo:** A bacia hidrográfica do rio das Rãs localiza-se na conjuntura regional do semiárido baiano e no curso médio do rio São Francisco. Diante das preocupações relativas as mudanças do clima, regiões semiáridas que têm nos recurso hídricos uma importantes preocupações se mobilizam para compreender, mitigar e construir resiliência para enfrentamento do problema. Rios, bacias e sua dinâmica são uma preocupações vitais. Nesse contexto, o **objetivo** deste trabalho foi analisar a dinâmica dos estoques de carbono e biomassas (acima e abaixo dos solos) em remanescentes de cerrado e caatinga, da/na bacia hidrográfica e seu entorno no período de 1973 a 2019. Em qual medida as ações derivadas das atividades econômicas afetaram os estoques de carbono e biomassa na bacia? Foram utilizados 17 inventários, 280 parcelas e 17.745 indivíduos como base de apoio à medição da biomassa e dos estoques de carbono (acima e abaixo do solo). Foram quantificados 4.169.071,36 ton. e 3.088.494,09 ton. de carbono acima e abaixo do solo, respectivamente. Nos 46 anos de análise, conclui-se que a agricultura regional influenciou na dinâmica dos estoques de biomassa e carbono na bacia, somadas as práticas como a exploração da vegetação para o carvão, pecuária, entre outras.  
Palavras chaves: Conservação; Mudanças do clima; geotecnologias; análise espacial

### **CARBON AND BIOMASS STOCKS IN THE BAHIA SEMIARID (1973 TO 2019)**

**Abstract:** The hydrographic basin of rio das Rãs is in the semi-arid region of Bahia in the middle course of the São Francisco River. Climate change in semi-arid regions is an important concern regarding water resources. Stakeholders and civilian society are mobilized to understand, mitigate, and build resilience to face the problem. Rivers, basins, and their

---

Artigo recebido para publicação em 28 de maio de 2021

Artigo aprovado para publicação em 24 de novembro de 2021

dynamics are vital concerns. In this context, the objective of this work was to analyze the dynamics of carbon and biomass stocks (above and below the ground) in remnants of cerrado and caatinga, from/in the hydrographic basin and its surroundings, from 1973 to 2019. To what extent did actions derived from economic activities affect carbon and biomass stocks in the basin? 17 inventories, 280 plots and 17,745 individuals were used to support the measurement of biomass and carbon stocks (above and below ground). 4,169,071.36 tons were quantified. and 3,088,494.09 tons. of carbon above and below ground, respectively. In the 46 years of analysis, it is concluded that regional agriculture influenced the dynamics of biomass and carbon stocks in the basin, together with practices such as the exploitation of vegetation for charcoal, livestock, among others.

**Keywords:** Conservation; Climate change; geotechnologies; spatial analysis

### **EXISTENCIAS DE CARBONO Y BIOMASA EN LA BAHIA SEMIARIDA (1973 A 2019)**

**Resumen:** La cuenca hidrográfica del río Rãs se ubica en el contexto regional del semiárido de Bahía y en el curso medio del río São Francisco. Ante las preocupaciones sobre el cambio climático, las regiones semiáridas que tienen importantes preocupaciones sobre los recursos hídricos se movilizan para comprender, mitigar y desarrollar la resiliencia para enfrentar el problema. Los ríos, las cuencas y su dinámica son preocupaciones vitales. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la dinámica de las existencias de carbono y biomasa (por encima y por debajo del suelo) en remanentes de cerrado y caatinga, de / en la cuenca hidrográfica y sus alrededores en el período de 1973 a 2019. ¿Las acciones derivadas de las actividades económicas afectaron las existencias de carbono y biomasa en la cuenca? Se utilizaron 17 inventarios, 280 parcelas y 17.745 individuos para respaldar la medición de las existencias de biomasa y carbono (por encima y por debajo del suelo). Se cuantificaron 4.169.071,36 toneladas. y 3.088.494,09 toneladas. de carbono por encima y por debajo del suelo, respectivamente. En los 46 años de análisis se concluye que la agricultura regional incidió en la dinámica de las reservas de biomasa y carbono en la cuenca, junto con prácticas como la explotación de la vegetación para carbón vegetal, ganadería, entre otras.

**Palabras llave:** Conservación; Cambios climáticos; geotecnologías; análisis espacial

## Introdução

Durante o processo de ciclagem do carbono, ele pode ser armazenado em mares, oceanos, rochas, solo, atmosfera nas formas de biomassa animal e, principalmente, vegetal (CARVALHO, *et al.*, 2010). Estima-se que quantidade de carbono armazenada no solo e na biomassa, viva ou morta, alcança o triplo da quantidade do CO<sub>2</sub> presente na atmosfera (SAMPAIO; COSTA, 2011).

As florestas tropicais e subtropicais acumulam, em média,  $5,478 \times 10^{11}$  toneladas – ton. de carbono, uma das maiores quantidades entre todos os tipos de comunidades vegetais mundiais (GAUDEL *et al.*, 2016). A América Latina detém 49% do estoque de carbono global, quando comparada à África Subsaariana e ao Sudeste da Ásia. A vegetação tropical seca acumula uma média de  $27 \pm 23$  toneladas de carbono por ha (Ton. C ha<sup>-1</sup>) (SAATCHI *et al.*, 2011). O cerrado brasileiro é a maior savana neotropical, com expressivas contribuições para o estoque de carbono global. Ele detém altas proporções de biomassa e carbono subterrâneos, em geral, principalmente sob a forma de raízes grossas (PAIVA *et al.*, 2011). A cobertura vegetal tem propriedades relevantes para a regulação Gases de Efeito Estufa - GEE, com o sequestro e os estoques de carbono no meio. Esse comportamento se enquadra como um serviço prestado pela natureza (SAMPAIO; COSTA, 2011; SANTOS, 2017).

Porém, os biomas brasileiros foram intensamente degradados durante séculos de ocupação territorial. Pode-se afirmar que expressiva parte da cobertura vegetal e da biodiversidade dos biomas da Caatinga e do Cerrado (além de outros) foi afetada durante este processo (INPE, 2016; 2020). Estima-se que até o ano de 2016, a Caatinga apresentou um acumulado de supressão de 255.454,918 km<sup>2</sup> de sua vegetação natural, ou 30% da área do bioma (INPE, 2016). O cerrado brasileiro seguiu o mesmo padrão de degradação, com a redução de 246.435,50 km<sup>2</sup> da vegetação nativa, entre os anos de 2000-2020. No estado da Bahia houve uma diminuição de 919,15 km<sup>2</sup>, ocupando o terceiro lugar entre os estados que mais desmataram o cerrado no ano de 2020 (INPE, 2020).

No Brasil, em 2019, as emissões aumentaram 189.815.123 de toneladas de CO<sub>2</sub> em relação ao ano anterior. Os estados do Pará, Mato Grosso e São Paulo foram os maiores emissores de CO<sub>2</sub> (SEEG, 2019). O estado da Bahia ocupa a décima terceira posição no ranking de emissões em 2019, com um total de 61.267.694 ton. CO<sub>2</sub>, em especial dos setores da agropecuária (41%), energia – queima de combustíveis, transporte e emissões fugitivas - (31%), mudanças de uso da terra e floresta (16%), resíduos (10%) e processos industriais

(2%) (SEEG, 2019). Apesar de se posicionar em 13º lugar entre os emissores, a situação da Bahia chama atenção por comportar importante percentual da caatinga, ter na variabilidade e escassez relativa de chuvas características importantes além de apresentar importante vulnerabilidade social à mudança do clima (SEE, 2019; MARENGO, 2020). Assim, emissões de CO<sub>2</sub> podem estar relacionadas à queima e supressão dessa vegetação. Isso se torna uma preocupação merecedora de investigação.

No semiárido baiano, entre biomas da caatinga e do cerrado localiza-se a bacia hidrográfica do rio das Rãs (BA). Durante os anos 1970, a bacia teve na produção algodoeira a sua base econômica. Ela ocupou extensões de terras na região denominada Vale do Iuiú. Foram destinados mais de 330 mil hectares para produção (FERNANDES, 2004; PEREIRA, 2013). Soma-se a esse contexto, as práticas de carvoejamento; a construção de uma barragem de rejeitos de minério de ferro no curso alto da bacia; e a instalação de empreendimentos eólicos para indicar que importantes transformações estão em curso no domínio do semiárido local.

Diante do contexto apresentado, em qual medida as transformações em curso, derivadas das atividades econômicas, afeta(ra)m os estoques de carbono e biomassa na bacia?

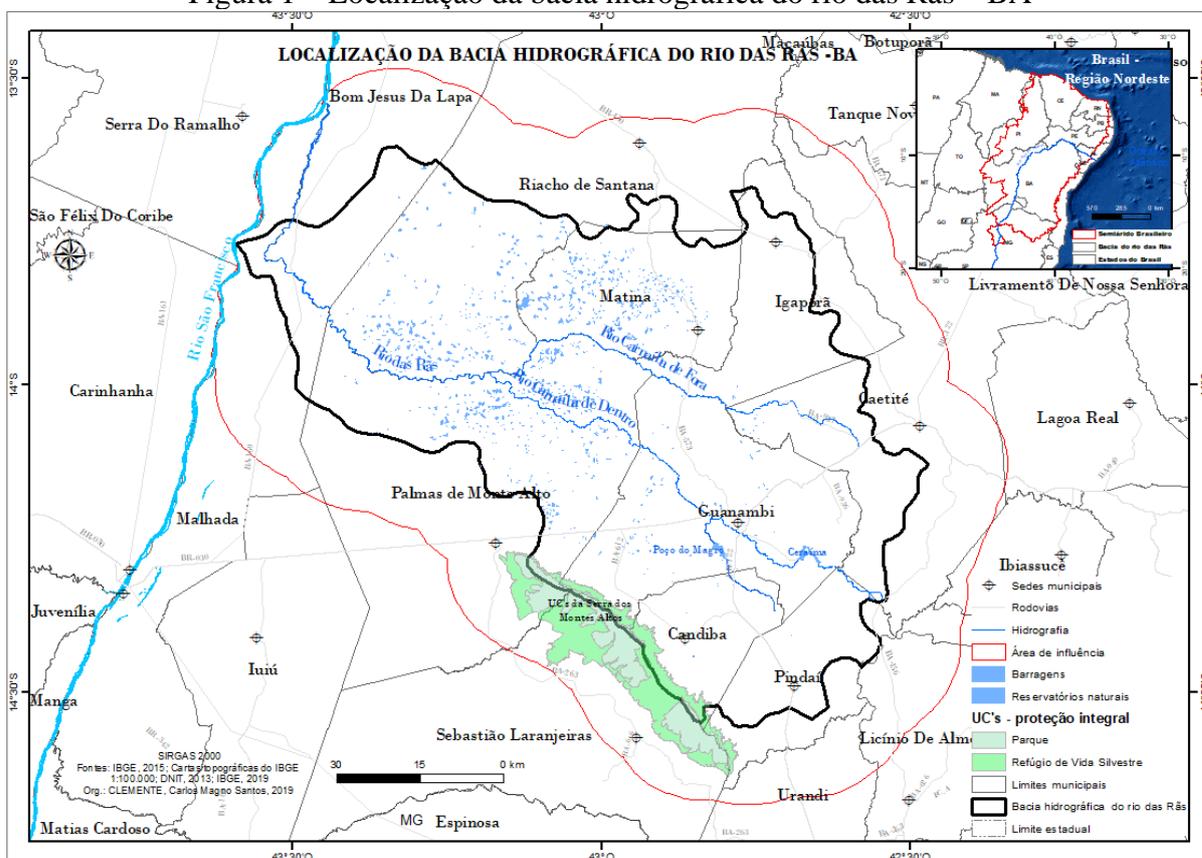
O objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica dos estoques de carbono e biomassa (acima e abaixo dos solos) em remanescentes de cerrado e caatinga, da/na bacia hidrográfica e seu entorno, entre décadas, durante 46 anos.

## **Material e métodos**

### *Área do estudo e seleção das parcelas*

O rio das Rãs se forma pela convergência dos rios Carnaíba de Fora e o Carnaíba de Dentro. Após a confluência ele deságua no rio São Francisco (IBGE, 1980-1974; ANA, 2006). Com a finalidade de abranger as Unidades de Conservação - UC's de proteção integral do parque e Refúgio de Vida Silvestre da Serras dos Montes Altos e as instalações de grandes empreendimentos no entorno imediato da bacia, optou-se por incluir, para fins de análise, uma distância *buffer* de 14 quilômetros a partir dos limites da bacia hidrográfica do rio das Rãs. Desta forma a área de estudo foi composta por 54% (667.361 ha/6.673,61 km<sup>2</sup>) de território correspondente aos limites geomorfológicos da bacia e 46% (572.537 ha/5.725,37 km<sup>2</sup>) correspondente ao seu entorno, totalizando 1.239.898 hectares (Figura 1).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio das Rãs – BA



Fonte: Org.: Autores, 2021

### Procedimentos metodológicos

Para análise da cobertura vegetal, foram utilizadas imagens oriundas dos satélites *Landsat – 1* (MSS), *Landsat – 5* (TM) e o *Landsat – 8* (OLI). O recorte temporal da pesquisa englobou os anos de 1973, 1987, 1997, 2007 e 2019 (períodos secos) e as órbitas/pontos de 218/70 e 2018/69. O critério para a definição do período de análise fundamentou-se na delimitação histórica da introdução e espriamento da cultura algodoeira moderna na bacia.

Foram feitas correções de posicionamentos ou registros foram destinadas as imagens dos satélites *Landsat 5* (canais R5, G4 e B3) e do *Landsat 1* (bandas R4, G6 e B5), baseadas no produto orbital do *Landsat – 8* (bandas R6, G5 e B4).

Foi empregada a classificação supervisionada por meio do algoritmo “Árvore de Decisão”. Foram realizados aprimoramentos nas classificações com fotointerpretações, trabalhos no campo, com a finalidade de retirar áreas de sombra e promover ajustes das confusões entre os objetos classificados. Este procedimento foi realizado para cada ano delimitado na pesquisa. Foram aplicados os procedimentos estatísticos do índice Kappa e a

exatidão global (LANDIS; KOCH, 1977). Foram usadas interpretações no campo, imagens de alta resolução (resolução espacial menores que 50 cm, satélites das séries *WorldView -Digital Globe-*, *GeoEye-1* e as Plêiades da *Airbus*) do ano de 2018 e 2019 da plataforma *Google Earth*. Em geral, foi diagnosticada uma exatidão global de 81,33% e um coeficiente *kappa* de 0,629. Isso indica um resultado muito bom para as classificações de imagens (LANDIS; KOCH, 1977).

O cálculo dos estoques de carbono e biomassa foi obtido por meio de inventários florestais, disponibilizados na plataforma do Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA (2012-2019). Por meio da plataforma SEIA, foram selecionados dezesseis (16) inventários florestais, totalizando 270 parcelas, com os seguintes parâmetros de coletas: uma parcela de 300 m<sup>2</sup> e as demais com 400 m<sup>2</sup>; indivíduos com Diâmetro a Altura do Peito – DAP igual ou superior a 4,77 centímetros; com Circunferência Altura do Peito – CAP maior igual (≥) a 15 cm e a 1,3 metros de altura da superfície do solo; e altura dos indivíduos. Também, utilizaram-se dez (10) parcelas do Inventário Florestal Nacional – IFN, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Serviço Florestal Brasileiro - SFB, com os estoques de carbono e biomassa em toneladas por hectares t/ha (2019).

A legenda adaptada do projeto Radam Brasil (1975), carta SD 23, foi usada para categorização dos tipos de vegetação, sendo esses: áreas de contatos (Savana/Floresta Estacional Decidual -FED, Savana/Savana-Estépica – caatinga - e Savana-Estépica (caatinga)/FED), FED e Savana (cerrado). As equações alométricas tiveram como base o projeto IFN - do SFB. Em específico, os inventários florestais de Sergipe (2017) e Ceará (2016) para as fitofisionomias em contatos (Savana/FED, Savana/Savana-Estépica, caatinga), Savana-Estépica (caatinga/FED) e FED, documentos fundamentados nos estudos de Sampaio; Silva (2005). Nesse contexto, a seguinte equação foi aplicada para cálculo de biomassa:

$$BSKg = 0,0612 DAP HT^{1,5811} \quad (1)$$

BSkg = Biomassa Seca quilograma

DAP = Diâmetro Altura do Peito

HT = Altura

Para o cálculo de biomassa da savana (cerrado), foi usada a equação aplicada pelo IFN (SFB) no Distrito Federal – DF (2016) (áreas de cerrado). Esse estudo foi embasado em Rezende (2002) e a equação foi a seguinte:

$$BSKg = 0,0298 DAP^2 HT \quad (2)$$

BKsg = Biomassa Seca quilograma

DAP = Diâmetro Altura do Peito

HT = Altura

Foi utilizado o fator de conversão de 0,56 para a conversão de biomassa seca (kg) acima do solo em biomassa seca (kg) abaixo do solo para as seguintes fitofisionomias: áreas de contatos (Savana/FED, Savana/Savana-Estépica (caatinga) e Savana-Estépica (caatinga)/FED) e FED (IPCC, 2007; SFB, 2016-2017), conforme recomendado pelo IPCC em 2007. Para a Savana foi usado o fator de conversão de biomassa acima do solo para biomassa abaixo do solo de 2,60, oriundo da pesquisa de Paiva *et al.*, (2011). Para a conversão de biomassa em carbono, para todas as fitofisionomias acima do solo, foi usado o fator de 0,49 do IPCC (2007). Vale registrar que o cálculo foi realizado na unidade biomassa seca/quilograma, sendo posteriormente realizada a transformação para toneladas por hectares. Os parâmetros adotados na pesquisa também foram utilizados pelo IFN.

Foram constituídos valores médios (oriundas dos inventários) por tipo de vegetação de estoques de biomassa e carbono. Posteriormente, em ambiente SIG, foram acrescentados os valores médios em cada mancha de vegetação, organizados por fitofisionomias (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios dos Inventários Florestais por fitofisionomias

| Tipos de vegetação <sup>1</sup>       | Biomassa (t/ha) |                | Carbono (t/ha) |                | Nº parcelas | Nº Indivíduos |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|
|                                       | Acima do solo   | Abaixo do solo | Acima do Solo  | Abaixo do solo |             |               |
| <b>Contato Savana/FED</b>             | 4,275           | 2,394          | 2,095          | 1,164          | 51          | 1.904         |
| <b>Contato Savana/Savana-Estépica</b> | 13,596          | 7,614          | 6,662          | 3,731          | 17          | 885           |
| <b>Contato Savana-Estépica/FED</b>    | 24,664          | 13,812         | 11,494         | 6,401          | 55          | 4.812         |
| <b>FED</b>                            | 12,793          | 7,164          | 6,258          | 3,509          | 117         | 8.259         |
| <b>Savana</b>                         | 14,506          | 37,715         | 7,108          | 18,480         | 40          | 1.895         |

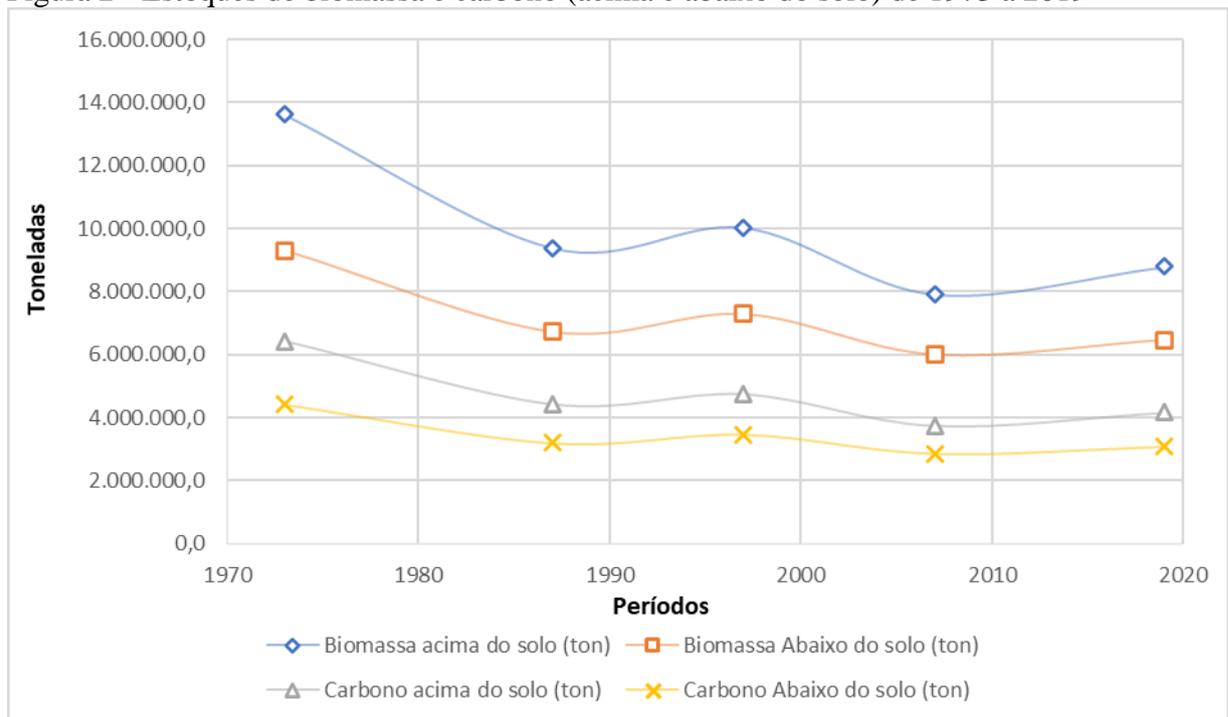
Fonte: Autores, 2021

## Resultados e discussão

A conservação da vegetação natural e da biomassa é determinante para aumento ou a estabilidade dos estoques de Carbono – C e é considerada fator decisivo para regulação do clima regional e o incremento do potencial de prestação de serviços ambientais na bacia do rio das Rãs (Figura 2). Em geral, foram quantificadas 8.786.563,53 toneladas – ton. e

6.475.957,35 ton. de biomassa acima e abaixo do solo, respectivamente, distribuídas em 551.768,33 ha (5.517,68 km<sup>2</sup>) de vegetação remanescente, no ano de 2019. Com relação aos estoques de C, no mesmo ano e área, foram encontrados 4.169.071,36 ton. e 3.088.494,09 ton., acima e abaixo do solo, simultaneamente. No ano de 1973, os estoques de biomassa alcançaram 13.617.347,26 ton. e 9.308.919,92 ton. (acima e abaixo do solo). Para as variáveis biomassa e carbono houve acréscimos entre os anos de 1987 e 1997, diminuição de 1997 a 2007 e a recuperação dos estoques de 2007 a 2019. Em específico, ao final da década de 1980, os números caíram para 9.387.640,26 ton. e 6.728.036,66 ton. para biomassa (acima e abaixo do solo); e 4.441.819,16 ton. e 3.198.345,02 ton. em relação ao C (acima e abaixo do solo). E no ano de 2019, foram encontrados 6.434.363,67 ton. de carbono acima do solo e 4.413.613,62 ton. abaixo do solo (Figura 2).

Figura 2 - Estoques de biomassa e carbono (acima e abaixo do solo) de 1973 a 2019



Fonte: Autores, 2021.

Nos primeiros 14 anos (1973 a 1987), houve redução de 27,53 % a 31,06% para todas as variáveis analisadas. Ao comparar a redução ocorrida entre os anos de 1973 e 1987 aos 46 anos analisados, observou-se que os primeiros contribuíram com percentuais que foram de 87% e 91% do total de perda dos estoques de carbono e biomassa. Os resultados apontam expressiva redução que coincide com a mudança do padrão de uso do solo ocorrido entre as

décadas de 1970 / 1980. Há concomitância com o período de expressivo avanço da cultura algodoeira na bacia. Soma-se a isso a expansão da pecuária e as práticas de carvoejamento (processo de transformação da madeira em carvão) (Figura 2).

O carvoejamento contribui para a diminuição de estoques de biomassa e carbono, além de intensificar a emissão CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo mais um obstáculo para o controle dos GEE regional. As áreas onde foi detectada a prática do carvoejamento são também as áreas de maiores adensamentos. São exemplos os municípios de Riacho de Santana - BA e Palma de Monte Alto – BA (Figura 3).

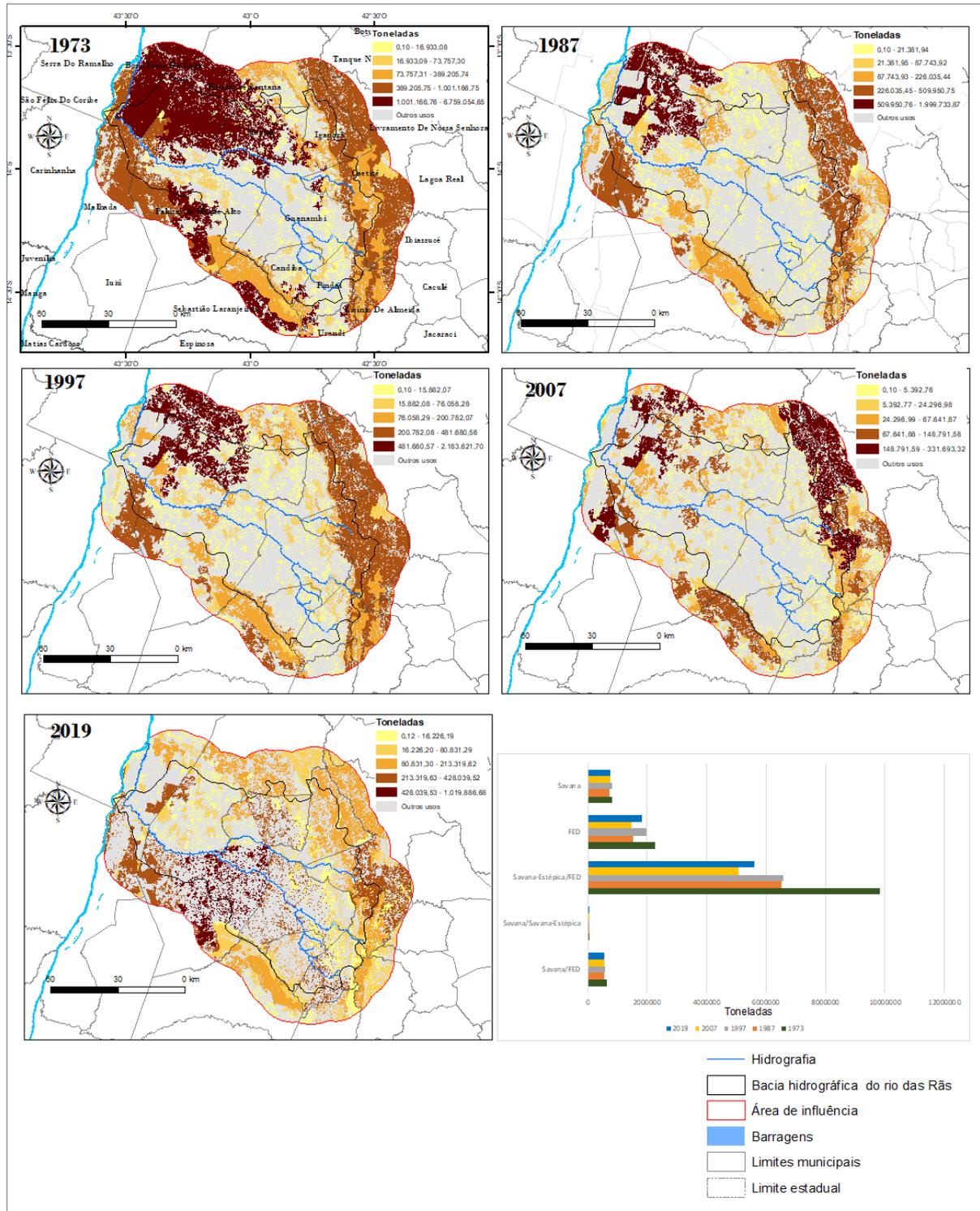
Figura 3- Exemplos de exploração por meio do carvoejamento



A esquerda município de Riacho de Santana-BA; A direita o município de Palma de Monte Alto-BA  
Fontes: Autores; SOUZA, G.C, 2019

Em relação à distribuição no espaço geográfico da biomassa acima do solo, em 1973, as maiores concentrações de estoques estavam em áreas de contato entre savana-estépica / FED, com fragmentos contíguos, entre 389.205,75 ton. a 6.759.054,65 ton., concentrados nas porções leste, nordeste, sul e nas regiões do ocidente e a noroeste da bacia. A biomassa vegetal, acima do solo, em 1973, ocupava 63% da área total da bacia hidrográfica do rio das Rãs e seu entorno. Isso indica maiores agrupamentos e contiguidade de comunidades de vegetação arbórea / arbustiva no início ou anterior a década de 1970 (Figura 4).

Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio das Rãs: Biomassa acima do solo entre décadas - 1973 a 2019



Fonte: Autores, 2021.

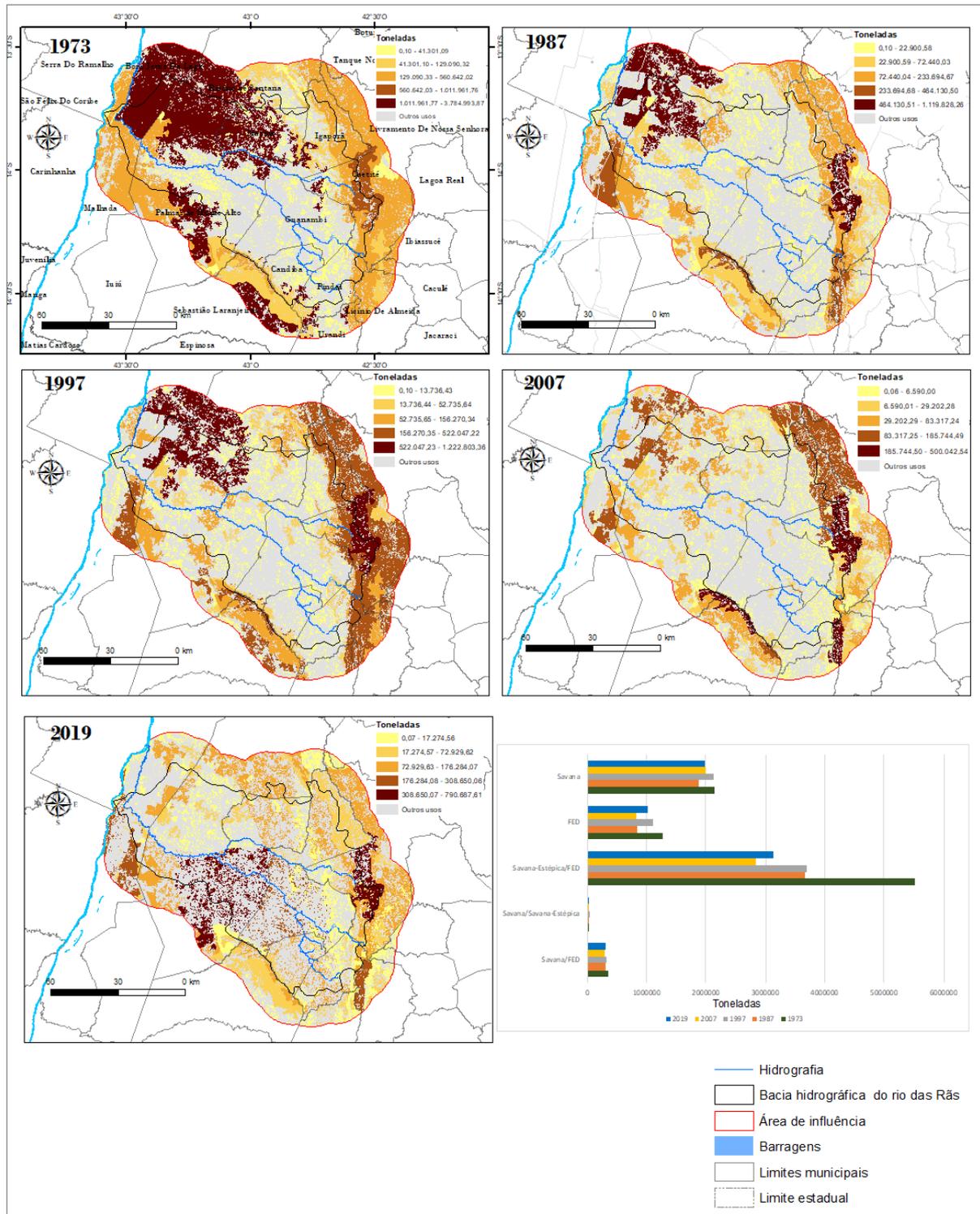
Os impactos em áreas de contatos de savana-estépica / FED contribuíram para reduções e flutuações nos estoques de biomassa acima do solo nos anos subsequentes. Os fragmentos de estoques de biomassa, acima do solo, contínuos ou com maiores conexões no espaço geográfico, diminuíram, com concentrações nas UC's e na Serra do Espinhaço. As fitofisionomias savana, contato savana/savana-estépica e contato savana/FED foram menos impactadas pela redução da biomassa, principalmente pela localização em terrenos elevados e com pouca atividade agropecuária. Esses acontecimentos criaram um cenário de concentração de animais silvestres e espécies raras em UC's e nas áreas mais remotas da bacia hidrográfica do rio das Rãs e seu entorno (Figura 4).

Para todos os anos analisados, os estoques de biomassa abaixo do solo totais para savana exibem maiores quantitativos, em relação aos armazenamentos acima do solo. Cabe observar concentrações na porção oriental e sul da bacia, em específico, na municipalidade de Caetité (Serra do Espinhaço) e nas UC's de proteção integral, concomitantemente (Figura 5). Em geral, na savana brasileira concentram-se os maiores estoques de biomassa abaixo dos solos (raízes), uma característica dessa fitofisionomia em relação a outros tipos de vegetação (HARIDASAN, 2000; PAIVA *et al.*, 2011).

A distribuição geográfica dos estoques de carbono, abaixo e acima do solo, segue uma lógica semelhante dos níveis de biomassa, relativos à intensidade por fitofisionomia e a distribuição no espaço geográfico. O carbono acima do solo, no ano de 1973, foi encontrado, em maiores proporções, nos contatos entre savana-estépica / FED e FED, com 4.584.741,37 ton. e 1.108.961,45 ton., respectivamente, nas regiões oriental, ocidental e sul da bacia. Essas fitofisionomias juntas comportavam 88% de todo o estoque de C armazenado naquele mesmo ano (6.441.609,56 ton. C) (Figura 6).

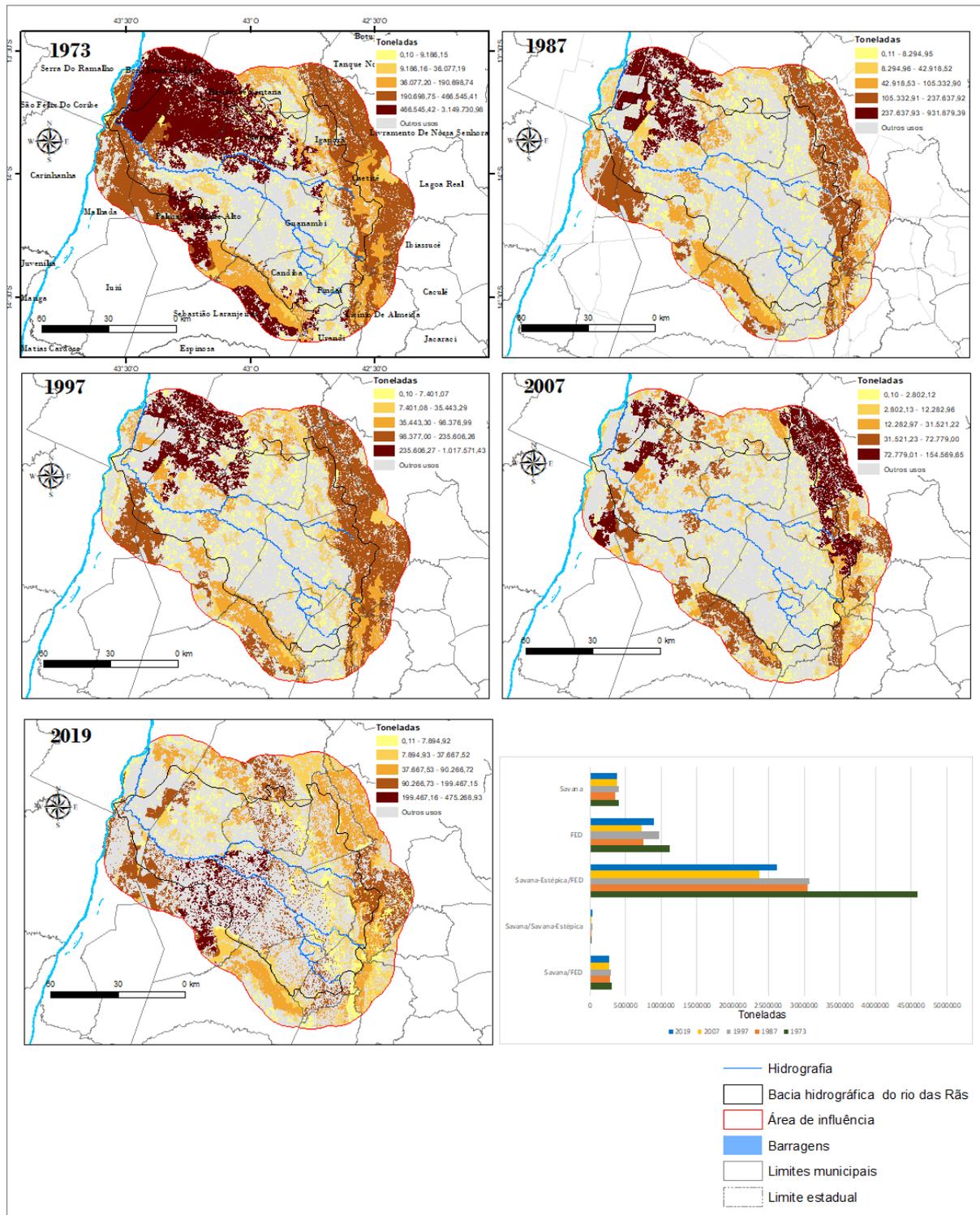
Verificou-se uma redução de 56,05 % dos estoques de C acima do solo em áreas de savana-estépica / FED, entre os anos de 1973 e 2019. Em 2019, na porção oeste e noroeste, a continuidade do armazenamento de estoques de carbono diminui de maneira expressiva, principalmente, nos municípios de Bom Jesus da Lapa - BA, Malhada - BA, Palma de Monte Alto – BA e Riacho de Santana – BA (Figura 6).

Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio das Rãs: Biomassa abaixo do solo entre décadas - 1973 a 2019



Fonte: Autores, 2021.

Figura 6 - Bacia hidrográfica do rio das Rãs: Carbono acima do solo entre décadas - 1973 a 2019



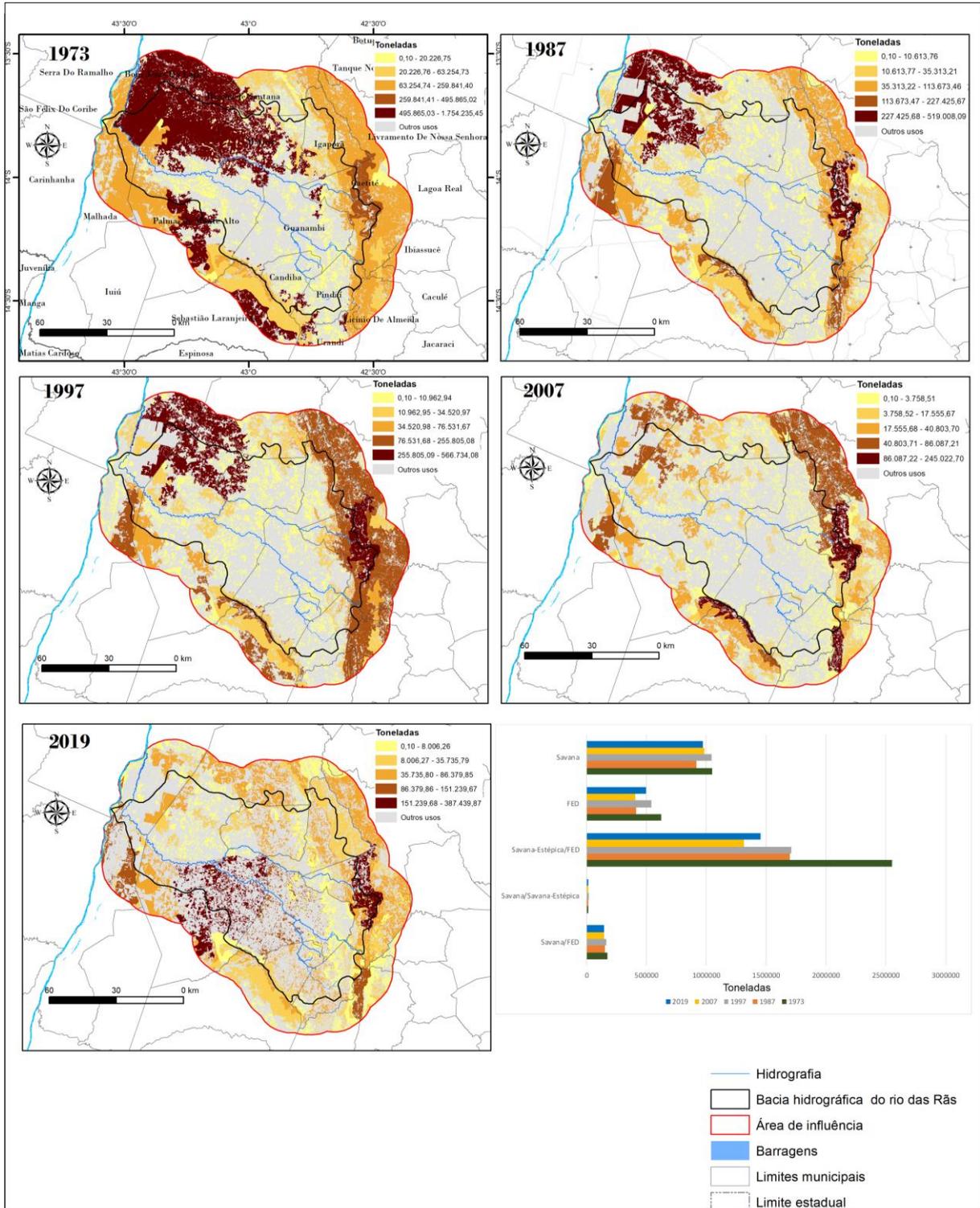
Fonte: Autores, 2021.

Entre 1973 e 2019 ocorreram modificações nos corredores com vegetação mais próximos ou contínuos de estocagem de carbono, alterando entre as regiões oeste e noroeste para as porções sul, leste e nordeste da bacia. Observa-se que as porções mais elevadas (altimetria) e com irregularidades topográficas, como a Serra do Espinhaço e as UC's localizam-se estoques de carbono em cobertura vegetal com manchas maiores (área). Em relação ao cerrado, ocorreu uma redução de 61,54% dos totais armazenados de C estão estocados abaixo do solo, comparados aos números de acima do solo (Figura 6). O Carbono abaixo do solo segue um padrão semelhante de distribuição espacial e intensidade da biomassa abaixo do solo (Figuras 7).

Em geral, a ação antrópica na cobertura vegetal ocasionou a diminuição dos serviços ambientais relativos aos estoques de biomassa e carbono na bacia hidrográfica do rio das Rãs e seu entorno. Entre os anos de 1973 a 2019, ocorreram reduções de 2.269.106,83 ton. de C acima do solo e 1.328.934,05 ton. C abaixo do solo, isso refere-se a 54,3 a 31,8% do armazenamento de C no ano de 2019. Os maiores impactos foram em fitofisionmias de contato entre Savana-Estépica/FED, principalmente por apresentar maiores extensões e a sua localização em área de aptidão agrícola. São estoques de C que deixaram de estar armazenados na cobertura vegetal para amenizar os GEE's do clima regional do semiárido baiano, diminuindo os serviços ambientais prestados pela natureza na bacia. Também, as extensões do cerrado foram menos impactadas na redução dos estoques de biomassa e carbono, principalmente, pela sua localização em terrenos de menos capacidades agrícolas ou isoladas geograficamente das pressões antrópicas.

Na bacia, observa-se um conflito entre a diminuição dos serviços prestados pela natureza, como os estoques de biomassa e carbono, com momentos históricos de expressiva atuação antrópica. Isso pode ser entendido como um trade-off. O *trade-off* nos serviços ambientais compreendem “tendências opostas”, ou seja, quando se eleva a eficiência dos serviços prestados pela natureza, outro aspecto diminui (MOUCHET *et al.*, 2014). Em Carité, semiárido de Gana, o processo tradicional utiliza a lenha para a produção de manteiga, sendo esse procedimento proporcionado modificações significativas nos estoques de carbono e redução dos serviços ambientais (JASAW *et al.*, 2017).

Figura 7 - Bacia hidrográfica do rio das Rãs: Carbono abaixo do solo entre décadas - 1973 a 2019



Fonte: Autores, 2021.

Na literatura científica, terminologias como ofertas versus demandas, serviços ambientais versus socioeconômico são alusivos à terminologia “trocas”, sendo os aspectos naturais na categoria das ofertas e os anseios socioeconômicos como demandas. Assim, os aspectos ecológicos, socioeconômicos e de gestão da paisagem se tornam relevantes na análise de ofertas e demandas de serviços ambientais (MOUCHET *et al.*, 2014). São relações desafiadores para bacia do rio das Rãs e seu entorno.

Uma medida conflitante na bacia que se enquadra no contexto do ‘*Supply-demand*’ ou “oferta versus demanda”. São ofertas ambientais advindas dos estoques de carbono que conflitam com as demandas regionais, como exemplo, a produção agrícola. Isso pode configurar uma defasagem espaço temporal para a recuperação dos ecossistemas, como ocorreu nas florestas secas no México, que apresentou uma deficiência na formação dos solos devido a agressividade agrícola (MOUCHET *et al.*, 2014). Também, uma lógica semelhante encontrada por Santos-Martín *et al.*, (2019), um *trade-off* entre o avanço agrícola e os serviços ecossistêmicos no território espanhol, entre outras sugestões, o estudo recomendou a criação de um órgão eficaz comprometido com as agendas voltadas para os serviços prestados pela natureza. No caso da bacia, apesar da intensa interferência antrópica em momentos pretéritos, os ecossistemas se recuperaram em períodos econômicos não prósperos, em relação a agricultura regional e/ou um econômico favorável nacional. O Pagamento por Serviços Ambientais - PSA pode ser uma alternativa para que ocorra o desenvolvimento econômico, concomitante com a manutenção dos estoques de carbono, uma conciliação entre a economia, conservação e a sociedade. Além disso, considerar os projetos de recuperação de áreas degradadas e a regeneração de extensões de vegetação fora de áreas de Área de Preservação Permanente - APP e reservas legais, pois essas últimas encontram-se amparadas pelo código florestal de 2012.

A bacia pode ser impactada com os aumentos da temperatura, principalmente pelas peculiaridades do clima no contexto do semiárido brasileiro. São efeitos como o aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, que atinge com maiores gravidades populações mais vulneráveis. No caso do semiárido brasileiro, as condições climáticas, com irregularidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica e a intensa evapotranspiração, somadas às frágeis condições dos pequenos produtores e comunidades rurais, intensifica os impactos negativos com o aumento da temperatura global, oriundos das mudanças do clima (MARENGO *et al.*, 2011). A área do estudo é uma parte desse contexto do semiárido brasileiro.

A bacia do rio das Rãs não tem um comitê regulamentado, sendo um dos poucos sem essa gestão na margem direita do São Francisco. Um comitê que poderia ser uma plataforma para a constituição de projetos de serviços ambientais e diálogo com a sociedade. Nessa perspectiva Cui *et al.*, (2019), sugerem a análise da escala, ofertas e demandas para a implementação de serviços ecossistêmicos para uma gestão ambiental eficiente. Em específico, são ofertas relacionadas ao conjunto de serviços que a natureza pode fornecer e as demandas da sociedade. Ainda, uma política geral, estadual, relevante para a implementação de agendas ambientais, porém, uma gestão local, municipal, que pode tornar projetos envolvendo os serviços ambientais mais ativos (CUI *et al.*, 2019). Principalmente para aumentar a efetividade dos aspectos jurídicos-ambientais para conservação da biodiversidade e o aumento dos serviços ambientais (FORTE, 2015).

São direcionamentos de gestão relevantes para operacionalizar políticas públicas ambientais de projetos relacionados aos PSA na bacia, que atualmente não detém um comitê. Os comitês que envolvem órgãos federais e estaduais, consórcios municipais, poder executivo municipal, Instituição de Ensino Superior – IES, entre outros. Principalmente para o mapeamento de grupos interessados em mercados de carbono ou PSA, que são aspectos basilares para consolidação dos projetos ambientais e podem formatar melhor uma proposta juntamente com a sociedade local (YU, 2004). Também, um conjunto de municipalidades comprometido com a agenda ambiental e estabelecendo a bacia hidrográfica como unidade de integração para a gestão.

Na bacia hidrográfica do rio das Rãs e seu entorno, a aplicação de uma política relacionada ao PSA pode ser uma alternativa para produtores, principalmente os agricultores familiares. Isso poderá trazer benefícios para a melhoria da renda familiar no campo e a estabilidade climática regional, com o aumento dos estoques de carbono e biomassa. Nesse contexto, a abordagem PSA pode estimular um caminho para a recuperação ou conservação da cobertura vegetal em áreas com maiores pressões antrópicas na bacia também, como é o caso da depressão de Guanambi ou do São Francisco, isso conciliando com práticas agropecuárias mais harmoniosas à natureza.

### **Considerações finais**

- A ação humana impactou de forma negativa os estoques de biomassa e carbono bacia do rio das Rãs e seu entorno, principalmente nos primeiros 14 anos analisados, sendo

um momento decisivo para o comprometimento dos serviços ambientais e para afetação da capacidade dos ecossistemas suportarem as pressões antrópicas. Foi durante as décadas de 1970 ao final de 1980 que as ações humanas interferiram de maneira proeminente na natureza, com a contribuição de 92,31 % do valor líquido negativo total da cobertura vegetal em 46 anos analisados, um período da expansão do plantio de algodão na bacia.

- E de certa maneira a agricultura regional influenciou na dinâmica dos estoques de biomassa e carbono na bacia. Além disso, orientou a eficácia e o prejuízo dos serviços prestados pela natureza, coincidentes com os períodos áureos e decadentes de uma agropecuária regional de grandes impactos. Soma-se a essa conjuntura a prática do carvoejamento, que acompanhou o processo histórico de exploração dos recursos naturais, com a atuação dispersa no espaço geográfico, sendo intensificada conforme as demandas de uma indústria siderúrgica do Sudeste, principalmente para a região metropolitana de Belo Horizonte, obedecendo a exploração mais acentuada em adensamentos de cobertura vegetal. A presente pesquisa sugere a outros estudos a compreensão dos estoques de biomassa e carbono fora das áreas de reservas legais de APP e recuperação de áreas degradadas.

### **Agradecimentos**

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial.

### **Referências**

- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. (2006) *Método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão das águas*. [https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=47&fname=manual\\_base\\_ottocodificada.pdf&access=private](https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=47&fname=manual_base_ottocodificada.pdf&access=private). Acesso em: 25 nov. 2021.
- BAHIA. Secretária do Meio Ambiente – Sema (org.). (2020) *Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA*. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 10 mar. 2020.

- BRAZIL WIND S.A. (2012) *Parque eólico corrupção, avaliação volumétrica*. Inventário Florestal. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: Mar. 2020.
- CARVALHO, J.L.N. AVANZI, J.C; SILVA, M.L.N; MELLO, C.R; CERRI, C.E.P. (2010) Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 277-289. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>. Acesso em: 30 mai. 2019.
- CUI, F., TANG, H., ZHANG, Q., WANG, B., DAI, L. (2019) Integrating ecosystem services supply and demand into optimized management at different scales: A case study in Hulunbuir, China. *Ecosystem Services*, 39. 100984. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100984>. Acesso em: 29 de abr. 2020.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. (2021) *DNIT Geo*. <http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso: 17 de maio de 2021.
- FEARNSIDE, P.M. (2018) Valoração do estoque de serviços ambientais como estratégia de desenvolvimento no Estado do Amazonas. *Inclusão social (Online)*, 12, 141-151. <http://revista.ibict.br/inclusao/article/view/4400>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- FERNANDES, J. C. (2004) *Comportamento de cultivares de algodoeiro submetidos aos preparos de solo com grade pesada e com escarificador e avaliação de leguminosas e gramíneas visando à integração lavoura-pecuária no Vale do Iuiu, Região Sudoeste da Bahia*. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas. <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/611/1/JAIRO%20COSTA%20FERNANDES.pdf>. Acesso em: 22 set. 2019.
- FORTE, A.Y. (2015) *Efetividade das áreas protegidas para a conservação da natureza sob a abordagem dos serviços ecossistêmicos na bacia do rio Corumbataí*. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Recursos Florestais (conservação de Ecossistemas Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. Cap. 3. [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-10052016-175624/publico/Yuri\\_Arten\\_Forte.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-10052016-175624/publico/Yuri_Arten_Forte.pdf). Acesso em: 28 abr. 2020.
- GAUDEL, G., HUI, Z.W., HUNG, D.Q., HIEN, E.L.T. (2016) The Global Terrestrial Carbon Stocks, Status of Carbon in Forest and Shrub Land of Nepal, and Relationship between Carbon Stock and Diversity. *International Journal of Research - IJR*. 3(1).

<https://www.researchgate.net/publication/331087301> *The Global Terrestrial Carbon Stocks Status of Carbon in Forest and Shrub Land of Nepal and Relationship between Carb on Stock and Diversity*. Acesso em: 07 de ago. 2019.

HARIDASAN, M. (2000) Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 12(1), 54-64. <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/v12n1p54.pdf>. Acesso em: 23 de abr. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. (2016) *Coordenação geral de observação da terra. programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas. Avisos – Bioma Caatinga*. <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. (2020) *Coordenação geral de observação da terra. programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas. Avisos – Bioma Cerrado*. <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE. (1974-1980). *Cartas topográficas*. <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 03 de jun. 2019.

\_\_\_\_\_. (2015) *Limites municipais*. <http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em: 16 de set. 2019.

\_\_\_\_\_. (1974-2019) *Dados agrícolas municipais*. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 01 de abr. 2020.

\_\_\_\_\_. (2019) *BDIA - Banco de Dados de Informações Ambientais*. <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 25 de nov. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. (2007) *Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/2007/>. Acesso em: 16 de set. 2019.

JASAW, G.S.; SAITO, O.; GASPARATOS, A.; SHOYAMA, K.; BOAFO.; Y.A; TAKEUCHI, K. (2017) Ecosystem services trade-offs from high fuelwood use for traditional shea butter processing in semi-arid Ghana. *Ecosystem Services*. 27 (A), 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.003>. Acesso em: 24 mai. 2019.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. (1977) The measurements of agreement for categorical data. *Biometrics*, 33 (3), 159-179. <https://doi.org/10.2307/2529310>. Acesso em: 15 dez. 2020.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.M. A. ; NOBRE, C.A.; NETO, G.G.R.; MAGALHÃES, A.R.; TORRES, R.R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L.A.; DESDARÁ, L.; ALVALA, R.C.S. (2020) Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. *Natural Hazards*, 102, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>. Acesso em: 27 de nov. 2020.

MARENGO J. A.; ALVES, LINCOLN M ; BESERRA, E. ; LACERDA, F. (2011) Variabilidade e mudanças do clima no semiárido brasileiro. In: *Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz*. (Org.). Recursos Hídricos e, Regiões Áridas e Semi Áridas. Campina Grande, PB: INSA. 383-416. [http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo\\_Variabilidade.pdf?languagebutton=en#:~:text=Aumentos%20de%20temperatura%20associados%20%C3%A0,clim%C3%A1ticas%20no%20semi%C3%A1rido%20brasileiro%20da](http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo_Variabilidade.pdf?languagebutton=en#:~:text=Aumentos%20de%20temperatura%20associados%20%C3%A0,clim%C3%A1ticas%20no%20semi%C3%A1rido%20brasileiro%20da). Acesso em: 15 dez. 2020.

MOUCHET, M. A. P., LAMARQUE, B. MARTIN-LOPEZ, E., CROUZAT, P., GOS, C. BYCZEK S., LAVOREL. (2014) An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Global Environmental Change* 28, 298-308. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.012>. Acesso em: 25 nov. 2021.

PEREIRA, S. R. N. (2013) *Guanambi: Centralidade, rede urbana e dinâmica regional no centro-sul baiano*. Dissertação. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia-UFBA. Salvador. <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/20146>. Acesso em: 20 de set. 2019.

RENOVA ENERGIA. (2013) *Autorização da supressão da vegetação*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.

RENOVA ENERGIA. (2014) *Adequação dos acessos externos do parque eólico seráima inventário florestal*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.

RENOVA ENERGIA. (2013) *Adequação dos acessos externos da área 13 A inventário florestal*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.

RENOVA ENERGIA-A. (2012) *LT 230kV SE A13.2 – SE Igaporã II (CHESF)*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.

- RENOVA ENERGIA-B. (2012) *LT 230kV SE A13.1 – SE Igaporã II (CHESF)*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.
- RENOVA ENERGIA-A. (2014) *Autorização da supressão da vegetação (Área 11-1)*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.
- RENOVA ENERGIA-B. (2014) *Autorização da supressão da vegetação*. Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA. <http://sistema.seia.ba.gov.br/lai.xhtml>. Acesso em: 17 de dez. 2019.
- REZENDE, A.V. (2002) *Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um Cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento*. Tese doutorado, Universidade de Brasília – UNB, Brasília.
- SAATCHI, S.S., HARRIS, N.L., BROWN, S., LEFSKY, M., MITCHARD, E.T.A., ZUTTA, B.R., BUERMAN, W., LEWIS, S.L., HAGEN, S., PETROVA, S., WHITE, L., SILMAN, M., MOREL, A. (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS*. 108 (24), 9899-9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>. Acesso em: 07 de ago. 2019.
- SAMPAIO, E. V. S. V.; SILVA, G. C. (2005) Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. *Acta bot. Brás.* 19(4), 935-943. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400028>. Acesso em: 25 de nov. 2021.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. (2011) Estoques e fluxos de carbono no semiárido nordestino: Estimativas Preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6 (12), 1275-1291. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i6.232783>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- SANTOS, C.V.B. (2017) *Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO<sub>2</sub> em áreas de caatinga preservada e em regeneração*. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. [http://tede2.uefs.br:8080/bitstream/tede/623/2/clovesvilasboas\\_disserta%C3%A7%C3%A3o\\_mestrado\\_2017.pdf](http://tede2.uefs.br:8080/bitstream/tede/623/2/clovesvilasboas_disserta%C3%A7%C3%A3o_mestrado_2017.pdf). Acesso em: 09 jun. 2019.
- SANTOS-MARTÍN, F., ZORRILLA-MIRAS, P., PALOMO, I., MONTES, C., BENAYAS, J., MAES, J. (2019) Protecting nature is necessary but not sufficient for conserving ecosystem

services: A comprehensive assessment along a gradient of land-use intensity in Spain. *Ecosystem Services*, 35, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.11.006>. Acesso em: 28 de abr. 2020.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. (2016) *Inventário Florestal Nacional – IFN: Distrito Federal: Principais resultados*. Brasília, Distrito Federal: MMA; Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. (Série Relatório Técnico). <http://www.florestal.gov.br/inventario-florestal-nacional>. Acesso em: 20 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. (2017) *Inventário Florestal Nacional – IFN: Sergipe: Principais resultados*. Brasília, Distrito Federal: MMA; Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. (Série Relatório Técnico) <http://www.florestal.gov.br/inventario-florestal-nacional>. Acesso em: 20 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. (2016) *Inventário Florestal Nacional – IFN: Ceará: Principais resultados*. Brasília, Distrito Federal: MMA; Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. (Série Relatório Técnico) <http://www.florestal.gov.br/inventario-florestal-nacional>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. (2019) *Estimativas totais CO<sub>2</sub> por toneladas*. [http://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission) Acesso em: 10 de sete. 2021.

PAIVA, A.O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. (2011) Estoque de Carbono em Cerrado Sensu stricto no Distrito Federal. *Revista Arvore*, Viosa, 35 (3), 527-538. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300015>. Acesso em: 23 de abri. 2020.

YU, C.M. (2004) *Sequestro florestal de carbono no Brasil – dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas*. 293 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Cap. 1. [https://ieeb.org.br/wp-content/uploads/2019/01/trab\\_tese\\_chang\\_sequestro\\_florestal.pdf](https://ieeb.org.br/wp-content/uploads/2019/01/trab_tese_chang_sequestro_florestal.pdf). Acesso em: 04 maio 2020.