



Mercator - Revista de Geografia da UFC
ISSN:
ISSN: 1984-2201
edantas@ufc.br
Universidade Federal do Ceará
Brasil

REGULAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Jerônimo Lucena de Oliveira, Paulo

REGULAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO

Mercator - Revista de Geografia da UFC, vol. 21, núm. 1, 2022

Universidade Federal do Ceará

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273674020025>

REGULAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Paulo Jerônimo Lucena de Oliveira
paulo.labigeo@ceres.ufrn.br



Acceso abierto diamante

Abstract

As pressões humanas sobre os ecossistemas decorrentes do uso e supressão da cobertura vegetal provocam ações negativas sobre a biodiversidade, impactando a natureza e os serviços ecossistêmicos por ela prestados. O foco desta pesquisa é avaliar a capacidade de prestação de Serviços Ecossistêmicos na Bacia do Rio Seridó (RN/PB). Foram aplicadas técnicas de modelagem a partir da USLE, além de índices de vegetação e carbono orgânico. Os resultados mostraram que os maiores valores de NDVI são encontrados em áreas de maior elevação e declividade, e os menores valores são encontrados em áreas planas. Foram identificadas 06 classes de uso do solo, a saber: corpos d'água, área urbana, pastagem e rocha exposta, Caatinga Subarborescente, Subarborescente e Arbórea. Como resultado, as áreas mais relevantes para a prestação de serviços de estoque de Carbono Orgânico estão nas áreas mais altas, com as áreas de maior controle de erosão localizadas em áreas de escarpas. Dessa forma, compreender a espacialização da capacidade das áreas de prover determinados serviços é dotar os agentes decisórios de um produto de planejamento ambiental voltado para garantir a provisão de serviços ecossistêmicos.

Keywords: Serviços Ecossistêmicos, Modelagem, Caatinga, Semiáridas, Bacia Hidrográfica.

Resumo

As pressões humanas sobre os ecossistemas decorrentes do uso e supressão da cobertura vegetal causam efeitos negativos sobre a biodiversidade, impactando a natureza e os serviços ecossistêmicos prestados por uma mesma pessoa. O enfoque desta pesquisa é avaliar a capacidade de prestação de Serviços Ecossistêmicos na Bacia Hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB). Foram aplicadas técnicas de modelagem a partir da USLE, bem como índices de vegetação e carbono orgânico. Os resultados mostraram que os maiores valores do NDVI estão em áreas de maior elevação e declividade, e os valores mais baixos encontrados em áreas planas. Foram identificadas 06 classes de uso do solo: corpos d'água, área urbana, Pastagem e rocha exposta, Caatinga Subarborescente, Subarborescente e Arbórea. Com esta razão, as áreas de maior relevância da prestação de serviços de Carbono Orgânico estão nas áreas mais elevadas, sendo que como áreas de maior controle de erosão localizadas em áreas de escarpas. Dessa forma, entender a espacialização da capacidade das áreas em prestar determinados serviços e proporcionar aos agentes tomadores de decisão, um produto de planejamento ambiental voltado a assegurar a prestação dos serviços Ecossistêmicos.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos, Modelagem, Caatinga, Semiáridas, Bacia Hidrográfica.

Resumen

As pressões humanas sobre os ecossistemas devido ao uso e supressão da cobertura vegetal causam ações negativas sobre a biodiversidade, impactando a natureza e os serviços ecossistêmicos que ela presta. O foco desta pesquisa é avaliar a capacidade de prestação de Serviços Ecossistêmicos na Bacia do Rio Seridó (RN/PB). Foram aplicadas técnicas de modelagem USLE, além de índices de carbono orgânico e vegetação. Os resultados mostraram que os maiores valores de NDVI são encontrados em áreas de maior elevação e declividade, e os menores valores são encontrados em áreas planas. Foram identificadas seis classes de uso do solo, a saber: Corpos d'Água, Área Urbana, Campos e Rochas Expostas, Caatinga Subarborescente, Sub-Subarborescente e Arbórea. Como resultado, as áreas de maior relevância para a prestação de serviços de armazenamento de carbono orgânico estão nas áreas mais altas, com as áreas com maior controle de erosão localizadas em áreas íngremes. Dessa forma, compreender a espacialização da capacidade das áreas de prover determinados serviços é fornecer aos tomadores de decisão um produto de planejamento ambiental voltado para garantir a provisão de serviços ecossistêmicos.

Notas de autor

paulo.labigeo@ceres.ufrn.br

Palabras clave: Serviços ecossistêmicos, Modelagem, Caatinga, Semiárido, Bacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

Avanços na compreensão da importância dos sistemas ambientais na prestação de determinados serviços a diversos serviços ecossistêmicos - na sociedade, há uma abordagem bastante coerente para a integração dos níveis de consumo exigidos pela humanidade em relação à capacidade do meio ambiente de prover determinados serviços (DE GROOT et al., 2010; POTSCHIN; HAINES-YOUNG, 2011). O entendimento de que as atividades econômicas, frente aos recursos naturais, levam a desequilíbrios ecológicos, estimula a discussão sobre os limites da pressão antrópica sobre os ecossistemas, iniciando o desenvolvimento de estratégias utilizadas para a conservação (COSTANZA, 1998; COSTANZA et al., 2017).

A partir da década de 1980, os esforços de conservação foram intensificados, considerando a dinâmica natural dos ecossistemas e as demandas sociais, bem como a apropriação da discussão entre sociedade e natureza (VASENTINI, 1997). Nesse sentido, o conceito de Serviço Ecossistêmico surge para promover avanços nas discussões sobre a abordagem da perspectiva da conservação dos ecossistemas por meio da integração de conceitos ambientais e socioeconômicos (FISHER et al., 2009; BURKHARD, 2014).

Dessa forma, autores como Costanza e colaboradores (1997); Potchin; Haines-young (2011); Haines-Young e Potschin (2013), caracterizando-nos como produtos tangíveis e intangíveis produzidos pelos ecossistemas, onde são utilizados direta ou indiretamente pela sociedade, em busca de seu bem-estar. Estes serviços dizem respeito a aspectos relacionados com a prestação, regulação e manutenção e aspectos culturais.

Nesta fase temos um importante elemento de retenção de carbono e armamento, bem como a redução dos processos erosivos por si só (BOTELHO, 2011; SANTOS, 2018), a Bacia do Rio Seridó, não semiárida brasileira, possui características modeladas pela dinâmica de uso e ocupação apenas por meio da supressão vegetal para o aumento de pastagens e agricultura extensiva, o que leva à instabilidade do ecossistema (PENNINGTON; PRADO; PENDRY, 2000; PEREIRA NETO, 2016).

Essas pressões antrópicas desencadeiam uma sequência de desequilíbrios em todo o sistema ambiental, causando prejuízos na qualidade da prestação desses Serviços (BOTELHO; SILVA, 2011). Assim, é necessário espacializar a capacidade da área de estudo para prover determinados serviços de regulação e manutenção (COSTANZA; DALY, 1992; COTANZA et al., 1997).

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a capacidade de suprimento de SE a partir da modelagem do Índice Universal de Perda de Carbono (EUPS) e dos índices de sequência de carbono para o Banho do Rio Seridó (RN-PB).

MATERIAIS E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Subbacia do Rio Seridó caracteriza-se como Bacia Hidrográfica Federal por estar localizada em dois estados (Paraíba e Rio Grande do Norte). Com drenagem intermitente típica de regiões semiáridas, os mananciais de drenagem estão localizados na Serra do Alagamar ou Serra dos Cariris (Município de Cubati/PB), ocupando uma área de aproximadamente 9.923 km², o que representa 22,7% da área total da Bacia em em que está inserida, a Bacia do Rio Piranhas Açu (43.683 Km²), configurando assim seu principal sub-bastião hidrográfico (Figura 1).

Com uma relação analítica integrada, a Bacia do Rio Seridó - BHRS é formada por sistemas naturais e antrópicos que modelam a paisagem para o aumento de escorregamentos em áreas de desertificação (28% da bacia), como destaca o trabalho desenvolvido por Sampaio et al. (2003), Costa e colaboradores (2009); (2012), Pereira Neto (2016), Rabelo e Araújo (2019).

O clima da área de estudo é classificado, segundo a atualização climática de Koppen BSw'h' (ALVARES et al., 2013), destacando-se a concentração dessa estação chuvosa no primeiro semestre do ano, em que a precipitação pluviométrica varia entre 400mm e 600mm anuais (LUCENA et al., 2018).

O processo preliminar foi feito em uma composição de falsos núcleos através das bandas 02, 03 e 04, respectivamente em azul, verde e vermelho, e então aplicado à classificação de ferro das imagens para criar raster classificado de acordo com os tipos de cobertura do solo.

QUEBRADO

O processo preliminar foi realizado em uma composição de falsos núcleos através das bandas 02, 03 e 04, respectivamente em azul, verde e verde, e aplicado à classificação de imagens de ferro para criar raster classificado de acordo com os tipos de cobertura do solo.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

[#form1.jpg]

Onde:

A - Perda de apenas por unidade de área ao longo (t.ano⁻¹);

R - Fator de erosão causado pela chuva (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.a.no⁻¹);

K - Fator de erodibilidade do solo (thha. MJ⁻¹.mm⁻¹);

LS - Fator Topográfico;

C - Cobertura e gestão do solo;

P - Práticas de conservação.

O fator R foi obtido através de dados pluviométricos das estações meteorológicas do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia e da EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, para os municípios de Caicó, Cruzeta, Ouro Branco e Florânia, no Rio Grande do Norte.

Norte, e da Agência Executiva de Gestão das Águas - AESA para os municípios de Santa Luzia, Patos, Picuí e Pedra Lavrada, na Paraíba, nos quais foram obtidos dados históricos de precipitação entre os anos de 2002 e 2018, contando uma série histórica de 16 anos.

Em seguida, aplicou-se a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985):

$$R = \sum_{i=1}^{12} 89,823 \left(\frac{Pm^2}{Pa} \right)^{0,759}$$

[#form2.jpg]

Onde:

R - Erosividade da chuva (MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹);

Pm - Precipitação média mensal (mm);

Pa - Precipitação total anual (mm).

Com relação ao fator K, os dados de areia fina, silte, argila e carbono orgânico do solo foram obtidos do banco de dados de Solos da Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, da plataforma FAO Digital Soil Map of the World (DSMW). e o Mapa Digital Mundial de Solos (MDMS).

Para análise dos dados, seguiu-se o procedimento descrito por Williams (1975), através da seguinte equação:

$$K = fareiag \cdot far - sif \cdot COrg \cdot fareiaf$$

[#form3.jpg]

Onde:

Fareiag - Fração de areia grossa;

Far-sif - Fração argila e silte;

COrg - Fração de carbono orgânico;

Fareiaf - Fração de areia fina contida na amostra de solo.

QUEBRADO

Os fatores são adimensionais, e cada fator dessa equação é calculado separadamente, através de equações específicas que podem ser obtidas de Williams (1975).

Após a obtenção de dois valores de K por meio da equação descrita acima, cada fragmento de apenas identificado no município recebe os devidos valores de fator K no ambiente SIG (Tabela 1), onde foi adotado o mapa de apenas produtos produzidos pela EMBRAPA (2011) escala de 1:5.000.000.

Classes de solo	Valor K
LATOSSOLO AMARELO Distrófico	0,34
LATOSSOLO AMARELO Eutrófico	0,33
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico	0,36
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico	0,45
NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico	0,45
PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico	0,35
LUVISSOLO CRÔMICO Órtico	0,37

#tab1en.jpg

Tabela 1 – Valores do fator K para as diferentes classes de solos que ocorrem na Bacia do Rio Seridó. Fonte: EMBRAPA (2011); MDMS (2019)
Fonte: EMBRAPA (2011); MDMS (2019)

Para o fator C, os valores recomendados para as áreas do semiárido nordestino da Caatinga utilizados por Farinasso et al (2006). Para tanto, as classes de cobertura vegetal foram descritas de acordo com a classificação de Chaves et al (2008), incluindo: Caatinga Arbustiva (< 1,5m); caatinga subarbustiva (< 1,5m e > 3m); caatinga subarbórea (< 3 e > 4,5m); E caatinga arborea (< 4,5m) (tabela 2).

Cobertura da terra	Fator C
Corpos hídricos	0,000
Pastagem e Rochas expostas	1,000
Zona urbana	0,075
Caatinga Arbustiva	0,007
Caatinga Subarbórea	0,001
Caatinga Arbórea	0,001

#tab2en.jpg

Tabela 2 – Bacia do Rio Seridó (RN/PB): Classes de cobertura vegetal, 2021. Fonte: Adaptado de FARINASSO et al (2006).

Fonte: Adaptado de FARINASSO et al (2006).

A figura LS foi obtida através da imagem do satélite ALOS/PALSAR Sensor, com resolução espacial de 12,5 metros, sendo trabalhada em SIG através da equação proposta por Moore e Bruch (1986).

$$LS = \left(\frac{F * \Delta}{22,13} \right)^{0.4} * \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1.3}$$

[#form4.jpg]

Onde:

F - Fluxo acumulado por cada célula;

Δ - O tamanho de cada célula fornece imagens métricas;

Θ - Ângulo de inclinação.

Para o fator P, o valor 1 para toda a área de estudo deveu-se à falta de informações sobre a existência de práticas conservacionistas na área. Esse procedimento também foi adotado por Farinasso et al (2006); (2007) e Silva e colaboradores (2012).

Para avaliar o potencial sequestro de carbono, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2-B (Sensor: MSI; dados da imagem: 15/08/2019). O índice de vegetação normalizada (NDVI) foi formado de acordo com a fórmula desenvolvida por Rouse et al (1973):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

[#form5.jpg]

Posteriormente, foram aplicados o índice de reflectância fotoquímica (IRP) e o índice de potencial de fluxo de dióxido de carbono (fluxo de CO₂), com base na metodologia descrita por Silva et al (2018). Para verificar alterações nos pigmentos carotenoides da folia, foi utilizado o índice de reflexo fotoquímico (IRP), calculado a partir da seguinte equação:

$$PRI = \frac{\text{blue} - \text{green}}{\text{blue} + \text{green}}$$

[#form6.jpg]

A partir da obtenção do PRI, é necessário corrigir seus valores para positivo, o que é de suma importância para normalizar os dados das áreas mais verdes da vegetação, conforme descrito por Silva e Baptista (2015), expresso pela seguinte equação:

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2}$$

[#form7.jpg]

Para obter o índice de fluxo potencial da sequência de carbono (Fluxo C), é necessário multiplicar os produtos gerados a partir do NDVI e do sPRI, o que determinará o potencial de sequência de carbono da vegetação fotossinteticamente ativa, com base na sequência de carbono proposta por Rahman et al (2000):

$$C \text{ Flux} = NDVI * sPRI$$

[#form8.jpg]

Quanto ao mapeamento dos SE, foi utilizada a metodologia da Classificação Internacional Comum dos Serviços Ecosistêmicos – CICES (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2017), desenvolvido a partir do trabalho de contabilidade ambiental realizado pela Agência Europeia do Ambiente (AEA). As classes de mapeamento serão descritas de acordo com a matriz de serviços potenciais da classificação de Burkhard et al., 2014; Burkhard; Mães, 2017.

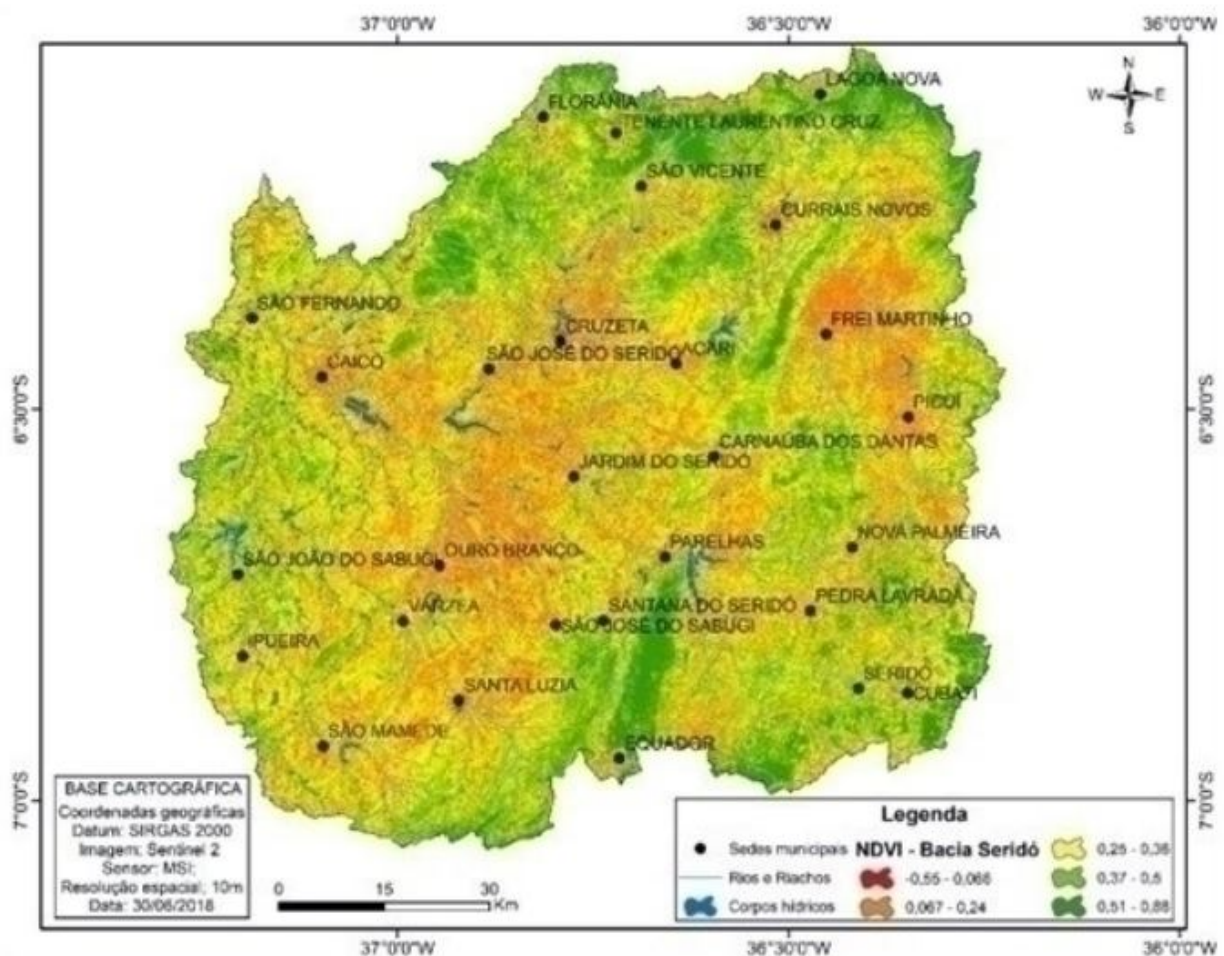
Nesse sentido, será avaliada a capacidade de prestação de serviços para a regulação e controle do eros, bem como a regulação dos fluxos de carbono orgânico que, segundo Costanza et al (2017), esse serviço

possui o funcionamento de ecossistemas e seus processos ecológicos que ajudam a regular as características ambientais que podem interferir no bem-estar humano.

Para realizar a análise estatística, foram tabulados os valores em hectare (ha) de sequestro de carbono e cobertura da terra, bem como os valores de erosão superficial, todos convertidos em percentagens (%) de forma a trabalhar com valores próximo de a amostra. Para tanto, aplicou-se estatística descritiva por meio de regressões lineares simples para medir o nível de relação entre sequências de carbono e classes de cobertura do solo, bem como o gráfico boxplot por meio de valores de erosão superficial, buscando concentração entre os quartos da superfície (GOTELLI; ELLISON, 2011).

RESULTADOS

De acordo com o mapeamento geral do índice de vegetação, os resultados obtidos no NDVI variaram de -0,55 a 0,88 (Figura 2). Onde os maiores valores são observados em áreas de maior altitude, áreas como a planície da Borborema, além dos inselbergues isolados e as encostas nas áreas mais altas.



#fig2en.jpg

Figura 2 - Mapa do índice de vegetação NDVI na Baía do Rio Seridó (RN/PB)

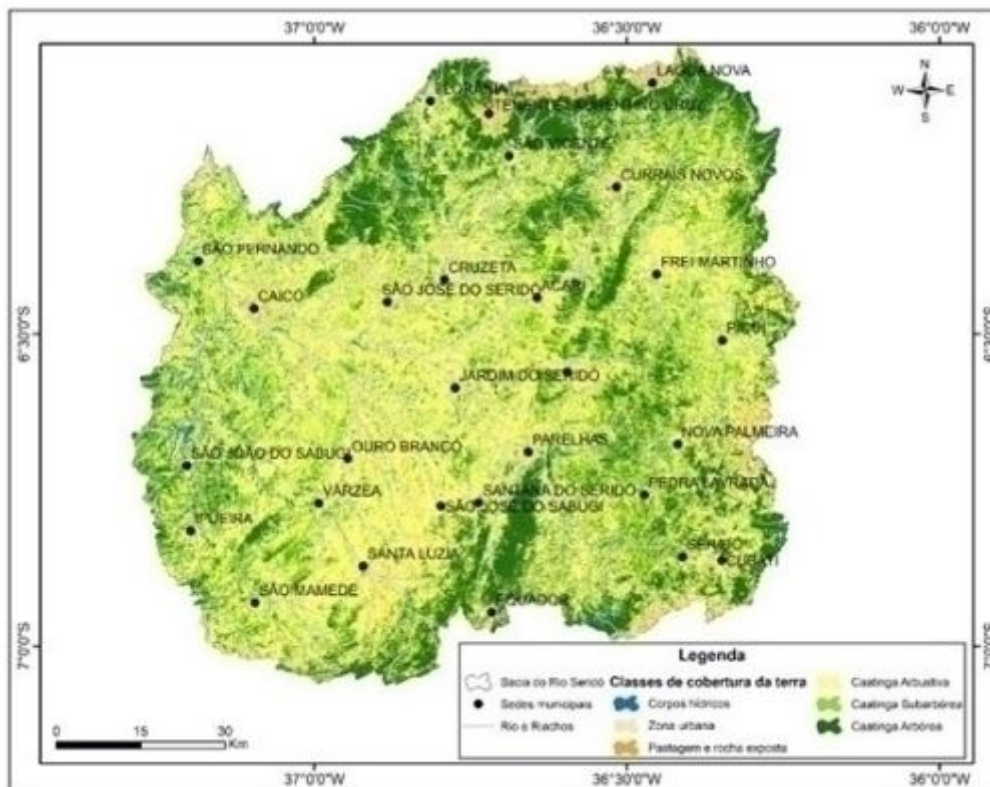
Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base em dois resultados obtidos com o NDVI, além do trabalho de reconhecimento de campo, foi possível identificar apenas 06 tipos de cobertura: Corpos d'água, zona urbana, Pastagem e rocha exposta, Caatinga Subarshtiva, Caatinga Subarbórea e Caatinga Arbórea (Figura 3). É importante ressaltar que, de acordo com a questão do trabalho, os tapetes ciliares e a vegetação densa foram considerados como o mesmo tipo de classe por apresentarem parâmetros fitofisiomáticos com o mesmo valor de reflexão.

Os dados obtidos foram quantificados em valores de hectare para cada uma das classes de cobertura, com predomínio de mais de 50% da classe Caatinga arbustiva (51,75%). Caracterizam-se por arbustos com alta diversidade de espécies dentro de um mesmo raio de visão, conforme descrito por Albuquerque et al (2020). A classe Caatinga Arborea possui 24,95% de cobertura vegetal, o que proporciona serviços importantes, como a liberação de O₂ do sistema e o controle da erosão e dos fluxos de carbono orgânico não só (FERNANDES et al., 2020).

A classe Caatinga Subarbórea é justamente aquelas áreas que apresentam vegetação de tamanho arbustivo e arbóreo, mas cujas características fitofisiológicas são predominantemente arbustivas ou que apresentam clareiras no interior do fragmento, como evidenciado in loco. São áreas que já apresentam aperçado estado de sucessão em termos de maior diversidade de espécies, buscando assim a estabilidade de suas caracteres ecológicas no que diz respeito ao aprimoramento das interações entre as funções ecológicas e a prestação de serviços (ANDRADE et al., 2020).

Já as classes Pastagem e Rocha exposta e a classe Zona Urbana, ambas apresentaram valores de ocupação em torno de 2,19% e 2,56%, respectivamente. A classe zona urbana também pode ser caracterizada como apenas exposta, o mesmo ocorre com a classe Pasto e rocha exposta, com uma mistura de pixels no produto final, sendo este resultado esperado por apresentem áreas más sin planta cover. Nesse sentido, há áreas com pouca capacidade de prestação de serviços por serem, em sua maioria, áreas totalmente alteradas pelo ser humano e que não se caracterizam mais como um sistema natural.



#fig3en.jpg

Figura 3 - Mapa da cobertura vegetal na Bacia do Rio Seridó (RN/PB).

Fonte: Elaborado pelos autores.

A classe de corporações hídricas apresenta valores em torno de 2,28% da cobertura total da área de estudo, embora este valor esteja sujeito a alterações com base na dinâmica hidrológica anual da área de estudo. Para melhor entendimento, a Tabela 3 traz os valores em hectares de cada classe de cobertura do solo.

Classe	Hectare	(%)
Corpos hídricos	22.635,90	2,28
Zona urbana	25.430,40	2,56
Pastagem e rocha exposta	21.725,30	2,19
Caatinga Arbustiva	513.793,06	51,75
Caatinga Subarbórea	161.532,10	16,26
Caatinga Arbórea	247.715,02	24,95
Total	992.831,79	100

#tab3en.jpg

Tabela 3 – Valores em hectares de cobertura do solo na Bacia do Rio Seridó (RN/PB). Fonte: Elaborado pelos autores.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao potencial de sequestro de carbono na área de estudo (Figura 4), que se caracteriza como áreas favorecidas e outras áreas em processo de desertificação, os resultados mostram uma distribuição espacial definida das unidades de relé com os maiores locais de sequência de carbono definidos pelos maiores valores de hipsometria.

Considerando o conteúdo metodológico da classificação proposta por Burkhard e colaboradores (2014) sobre a capacidade de prestação de serviços para a regulação de vazões com base nas áreas da tabela CICES, as áreas classificadas como capazes de prestar serviços relevantes para fluxos de carbono nas áreas de corpos d'água, por serem da natureza da paisagem.

Como muitas áreas caracterizadas por maior relevância do que o respeito à prestação de serviços, as localidades onde apresentam altíssima capacidade de relevância são espacializadas mais próximas dos limites da área de estudo, caracterizadas por áreas de escarpa, sendo áreas de maior dificuldade na implementação de atividades agrícolas extensivas, como destacam Silva e Barbosa (2017).



#fig4en.jpg

Figura 4 - Capacidade de prestação de serviços de regulação de vazão na Bacia do Rio Seridó (RN/PB).
Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos valores quantitativos, as áreas classificadas como capacidade relevante apresentaram o maior valor de hectare (29,66%) juntamente com a classe média de capacidade relevante (27,01). Outro dado interessante é que os valores das diferentes clases de alta habilidade relevante e baixa habilidade relevante apresentaram valores muito próximos (17,82 e 16,83, respectivamente).

Potencial de sequestro de Carbono	Hectare	(%)
Nenhuma capacidade relevante	7.482,05	0,75
Baixa capacidade relevante	167.086,50	16,83
Capacidade relevante	294.463,76	29,66
Média capacidade relevante	268.206,78	27,01
Alta capacidade relevante	176.880,90	17,82
Capacidade relevante muito alta	78.731,32	7,93
Total	992.831,31	100

#tab4en.jpg

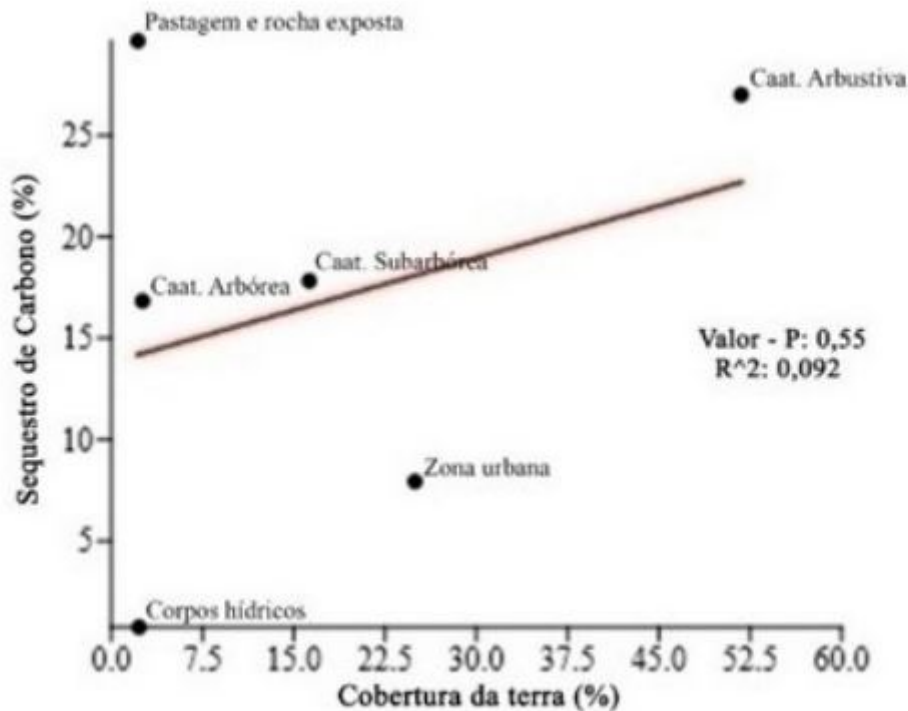
Tabela 4 – Valores em hectares de sequestro de carbono na Bacia do Rio Seridó (RN/PB). Fonte: Elaborado pelos autores.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A classe de capacidade relevante muito alta apresentou valores de 7.93% da área de estudo e a classe que se caracterizou sem capacidade relevante apresentou valores abaixo de 1% (tabela 4).

Considerando as diversas coberturas e potenciais de sequestro de carbono, os resultados da estatística descritiva em regressão linear simples mostram maior relação entre as classes de Caatinga Densa e Intermediária.

Nesse sentido, com base no valor de R2, foi possível identificar que a variável cobertura explica apenas 92% dos valores de absorção de carbono, mostrando uma forte ligação entre as duas variáveis. Os quais, por sua vez, foram considerados como outliers ou pontos mais discrepantes entre os valores da análise estatística, as classes de água e solo exposto (Figura 5).



#fig5en.jpg

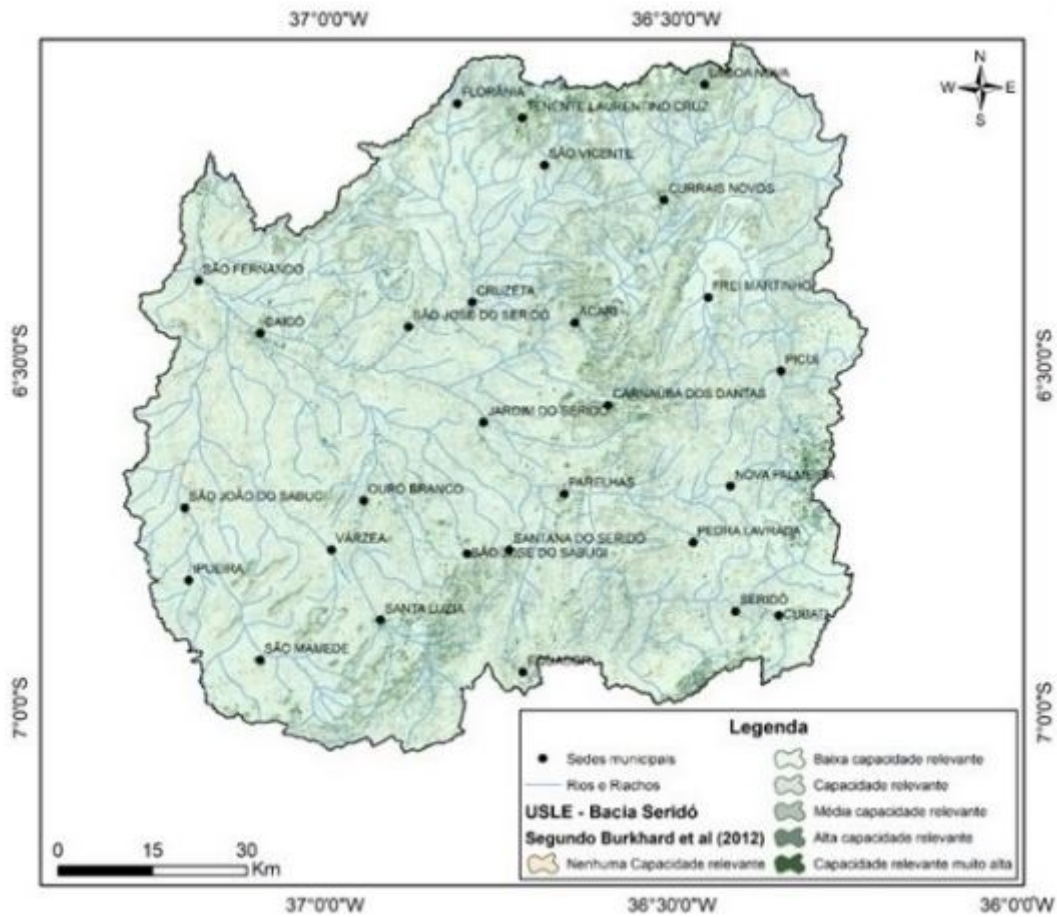
Figura 5 - Regressões lineares simples entre potencial de sequestro de carbono e cobertura da terra.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base na classificação SE de controle da erosão, as áreas com maior balanço de sedimentos tenderam a ser identificadas (Figura 6). No entanto, não é possível perceber que não há uma área de maior representatividade que apresente uma capacidade de altíssima relevância na classificação da prestação de serviços.

Em relação aos valores de cada classe de prestação de serviços, a atenção dada à predominância de uma única classe, à menor capacidade relevante (78,8%), mostrando a efetividade da prestação de serviços para controle de eros. Isso se reflete na dinâmica atual da paisagem, mostrando áreas apenas descobertas e/ou formadas por vegetação que apresenta aspectos de degradação (bifurcação na área basal; espacialização entre indivíduos, entre outros), sendo áreas que recebem uma forte energia no sistema, sem radiação solar ou concentração de fluxos de energia hidrogeológica no quarto período do ano.

A classe de capacidade relevante foi a segunda maior em hectares, com 9,48%, seguida pela classe de capacidade relevante muito alta (4,48%), localizada nas bordas da área de estudo e que, em sua conjunção, são formadas por vegetação densa. As classes de média capacidade relevante e alta capacidade relevante apresentaram valores semelhantes, com 3,29% e 2,10%, respectivamente. Por fim, a classe sem capacidade relevante é representada por 1,83%, sendo formada por áreas de corpos d'água.



#fig6pt.jpg

Figura 6 - Espacialização das áreas para prestação de serviços de controle da erosão superficial do solo. Fonte: Elaborado pelos autores.

Controle de erosão superficial	Hectare	(%)
Nenhuma capacidade relevante	18.183	1,83
Baixa capacidade relevante	780.511	78,80
Capacidade relevante	93.928	9,48
Média capacidade relevante	32.609	3,29
Alta capacidade relevante	20.803	2,10
Capacidade relevante muito alta	44.414	4,48
Total	992.831,18	100

#tab5en.jpg

Tabela 5 - Prestação de serviço de controle da erosão superficial do solo. Fonte: Elaborado pelos autores. Fonte: Elaborado pelos autores.

DISCUSSÃO

Conforme pode ser observado na figura 03, foi possível mapear 6 classes de cobertura do solo. São eles: Corpos d'água, zona urbana, Pastagem e rocha exposta, Caatinga Subarrubtiva, Caatinga Subbarbórea e

Caatinga Arbórea. No entanto, é importante ressaltar que valores de NDVI em torno de 0,78 também foram encontrados em áreas superiores por Albuquerque et al (2020) no município de Parelhas-RN, que não está inserido na área de estudo.

Ou seja, esses afloramentos rochosos constituem uma barreira seletiva à ocupação e estabelecimento de espécies vegetais. Nelas, os habitats rochosos caracterizam-se principalmente pela ausência e/ou escassez de solo, por características edáficas, por fatores microclimáticos limitantes potencializados por características geomorfológicas e pela natureza geológica das rochas (ABREU et al., 2012; ARRUDA et al., 2015; CARLUCCI et al., 2015).

Vale ressurgir a importância do trabalho que vem sendo alterado para o manejo de práticas conservacionistas em áreas abertas, uma vez que esse serviço ocupa grandes áreas. Para o segundo Dias-Filho (2010) a falta de cuidado reflete na longa vida útil da produção de pastagens com a formação de vastas áreas degradadas, incentivando o desenvolvimento de novas áreas ou, ainda, a expansão de áreas de pastagem em áreas de vegetação natural.

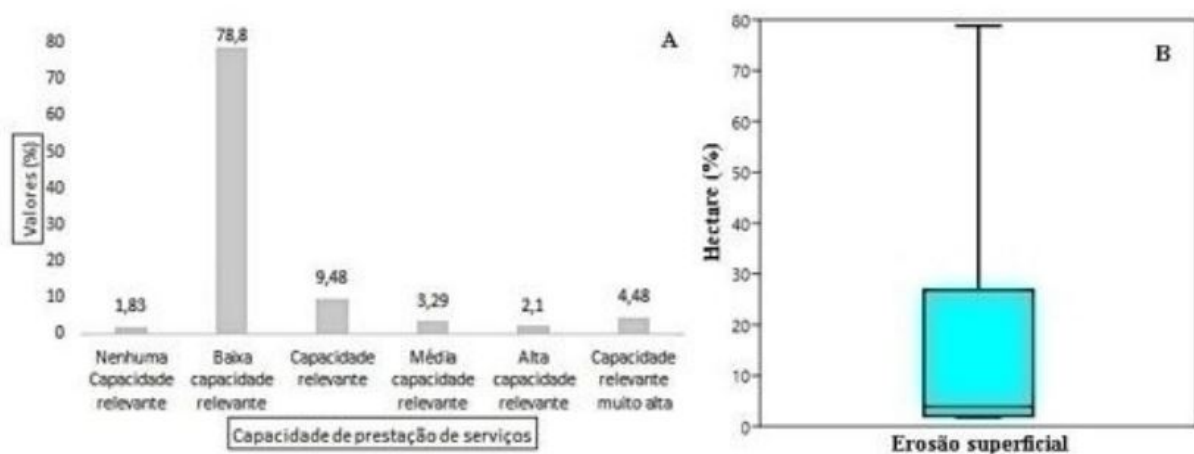
Ponzoni et al. (2012), apontam que os valores de NDVI podem ser maiores em áreas que estão em processo de regeneração, quando comparadas a áreas florestais, devido à alta atividade de fotossintética. Nesse sentido, as áreas da Caatinga Arborea que sofrem influência de atividades agropecuárias, geralmente apresentam valores de NDVI mais baixas.

Focando mais na discussão e compreensão do alto valor da classe de baixa capacidade relevante (Figuras 7A e 7B), será necessário haver uma apropriação temporal na compreensão das tipologias de paisagem, com pressões antrópicas para moldar esses sistemas há cerca de 300 anos, como destacam Costa e colaboradores (2009); e Silva e Barbosa (2017).

Nesse sentido, o processo de uso e ocupação da paisagem é pouco moldado, contribuindo para o processo que caracteriza a vegetação decorativa de sua história evolutiva, desenvolvendo adaptações aos ambientes estabelecidos em ambiente semiárido e de pressão antrópica (GRAEFF, 2015).

Pelo gráfico do boxplot representado pela figura 7B, a classe de baixa habilidade relevante representava justo o outlier da amostra, ou seja, a anomalia dentro de todos os valores amostrais distribuídos entre a distância interquartil que, por sua vez, a mediana apresentava valores mais próximo do valor do primeiro quartil, bem como do valor mínimo da amostra. Nesse sentido, este gráfico mostrou uma forte relação entre as variáveis apresentadas, exceto para a classe de baixa habilidade relevante.

Essas variações ambientais são responsáveis pela diversificação da composição e fisionomia da vegetação, retratada principalmente na densidade e estratificação horizontal e vertical das comunidades vegetais (RODAL, 1992), que, dependendo do regime pluviométrico e do tipo de solo, variam de florestas datadas a altas e secas até 15-20 m de altura (RIZZINI, 1997; CARDOSO-SILVA et al., 2018).



#fig7pt.jpg

Figura 7 - Variação na capacidade de prestação de serviços de controle da erosão superficial do solo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

QUEBRADO

QUEBRADO

Vale ressaltar que as florestas tropicais são provavelmente o tipo de vegetação mais associado à América do Sul na mente das pessoas (MORO et al., 2016). Devido a esse foco nas florestas tropicais, outros biomas, bem como as formações semiáridas, foram frequentemente negligenciados, tanto em termos de estratégias de conservação quanto em termos de pesquisa científica (PRADO, 2000; SANTOS et al., 2011). . E apesar de bastante alterada, a Caatinga é um bioma de grande biodiversidade, com relevância biológica e considerada beleza peculiar, com destaque para a multiplicidade de comunidades vegetais, formadas por uma gama de combinações entre tipos edáficos e variações microclimáticas, além de uma expressiva proporção de taxatos raros e endêmicos (CARDOSO-SILVA et al., 2018).

Nesse contexto, observa-se que a maior parte dos esforços científicos para o estudo e conservação da vegetação tropical está concentrada em florestas tropicais, enquanto pouca atenção tem sido dada às florestas tropicais secas (MOONEY; NOVILHO; MEDINA, 1995; SIYUM, 2020), considerado um dos ecossistemas mais amados da Terra (PRADO, 2000; OLSON et al., 2001; HOEKSTRA et al., 2004; CARDOSO-SILVA et al., 2018), com altas taxas de desmatamento, exigindo que se busque a conservação florestal (MILES et al., 2006).

CONCLUSÃO

A partir de dois resultados obtidos, pode-se concluir que a cobertura vegetal do Banho do Rio Seridó permitiu inferir o grau de interferência antrópica nessa paisagem, sendo a área mais representativa caracterizada pelo dossel arbustivo, que se configura como uma vegetação que apresenta degradação. No entanto, a pastagem e a classe de exposição apresentaram menor valor de cobertura (2,18%), variando de acordo com o período do ano devido à variação da clorofila nas plantas do semiárido.

Em relação aos fluxos de Carbono Orgânico e controle de eros, a classe da Caatinga Arbórea foi a mais relevante na província das SEs, sendo esses remanescentes isolados em áreas de maior altitude e declividade, nas quais tendem a controlar a erosão superficial do solo.

A metodologia proposta neste trabalho mostrou-se eficaz com base na modelagem SIG. É possível fazer uma espacialização e distinção entre diferentes graus de capacidade de prestação de serviços por unidade ambiental dentro da bacia hidrográfica, permitindo uma correlação entre sua dinâmica hidrológica e as características do ambiente, podendo gerar modelos futuros para a tomada de decisão em conjunto com o planejamento ambiental.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, D.M.; OLIVEIRA, C. E; CORRÊA, G. R; RODRIGUES, P.M.; DUQUE-BRASIL, R; FERREIRA-JÚNIOR, W. G; OLIVEIRA-FILHO, NA As formas de relevo e os atributos do solo determinam a estrutura da vegetação no semiárido brasileiro. *Folia Geobotânica* 50: p.175-184. 2015
- OLIVEIRA, P.I.M.; RODRIGUES, J. P. B.; OLIVEIRA, F. S.; MIRANDA., M. P. Sensoriamento remoto aplicado como indicador de desertificação no município de Parelhas – RN. *Revista de Geografia*, v. 37, n. 1, p. 241-261, 2020.
- OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Ata Botânica Brasileira*, v.19, n.3, p. 615-623, 2005.
- ANDRADE, D. C. Valoração econômico-ecológica: bases conceituais e metodológicas. 1ª edição. São Paulo: Annablume, 2013. 272 págs.
- OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; PALÁCIO, H. A. Q.; CAMPOS, D. A. Ecohidrologia em uma floresta tropical seca brasileira: impacto da vegetação desbastada nas funções hidrológicas e serviços ecossistêmicos. *Revista de Hidrologia: Estudos Regionais*, v. 27, n. 1, p. 1-13, 2020.
- ANDRADE-LIMA, D. O Domínio da Caatinga. *Revista Brasileira de Botânica*. v.4, p.149-153. 1981.
- RIBEIRO, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: Livroceres, 1985. Pág. 392.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In.: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. 2º. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.p.153-192.
- BURKHARD B, KANDZIORA M, HOU Y, MULLER F. Potenciais, Fluxos e Demandas de Serviços Ecosistêmicos - Conceitos para Localização, Indicação e Quantificação Espacial. *Paisagem Online*, v. 34, p.1-32, 2014.
- RIBEIRO, A.; MAES, J. Mapeando Serviços Ecosistêmicos. Sofia: Editora Pensoft, 2017.
- RIBEIRO, J. M; OLIVEIRA, A. R; TABARRELI, M. Caatinga: a maior região de floresta tropical seca da América do Sul. Nova Iorque, NY: Springer Science+Business Media, 2018.
- OLIVEIRA, A. B; BASTAZINI, V.; Para; HOFMANN, G. S; MACEDO, J. H; Ribeiro, G; DUARTE, L. D; OLIVEIRA, A. M; MÜLLER, S.C. Diversidade taxonômica e funcional de comunidades de plantas lenhosas em encostas opostas de inselbergues no sul do Brasil. *Ecologia Vegetal e Diversidade* 8: p.187-197. 2015.
- CHAVES, Eu. de B.; LOPES, V. L.; OLIVEIRA, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da Caatinga. *Revista Caatinga*, v. 21, n. 2, p.204-213, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed.: Universidade de São Paulo (USP), Editora Blucher, 1980. 188 págs.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; LIRA, D. R.; MUTZENBERG, D. S.; CAVALCANTI, L. C. S. O Domínio do Semiárido do Nordeste do Brasil. In: SALGADO, A. A. R.; OLIVEIRA, J. C.; PAISANI, J.; C. (Orgs). Meio Ambiente, Vegetação e Paisagem. Springer Nature Suíça AG, 2019, p. 119 – 150.
- Oliveira, R.; DALY, H. E. Capital natural e desenvolvimento sustentável. *Biologia da Conservação*, v. 6, n.1, p. 37-46, 1992.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURGO, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN

- DEN BELT, M. O valor de Serviços ecossistêmicos: colocando as questões em perspectiva. *Economia Ecológica*, v. 25, p. 67-72, 1998.
- COSTANZA, R. GROOT, R., BRAAT, L., KUBISZEWSKI, I., FIORAMONTI, L., SUTTON, P.; FABER, A.; GRASSO, M. Vinte anos de serviços ecossistêmicos: até onde chegamos e até onde ainda precisamos ir? *Serviços Ecossistêmicos*, v. 28, p. 1-16, 2017.
- Oliveira, R.; OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, A.; LIMBURGO, K.; Oliveira, A.; OLIVEIRA, R. V.; OLIVEIRA, J.; RIBEIRO, R. G.; Oliveira, P.; VAN DEN BELT, M. O valor dos serviços ecossistêmicos e do capital natural do mundo. *Natureza*, v. 387, p. 253-260, 1997.
- Oliveira, R.; OLIVEIRA, R.; Oliveira, P.; OLIVEIRA, S. V. D.; OLIVEIRA, J. A.; Oliveira, A.; OLIVEIRA, A.; TURNER, R. K. Mudanças no valor global dos serviços ecossistêmicos. *Mudanças Ambientais Globais*, v. 26, p. 152-158, 2014.
- COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p. 961-974, 2009.
- CHAVES, I. de B.; LOPES, V. L.; OLIVEIRA, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfoestrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da Caatinga. *Revista Caatinga*. v. 21. n. 2º. p.204-213. 2008.
- CHAVEZ-JR, P. S. Uma técnica aprimorada de subtração no escuro para correção de espalhamento atmosférico de dados multiespectrais. *Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente*, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.
- CUNHA, F. L. S. J. Valoração de serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas. 2008. 129 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.
- OLIVEIRA, R.S.; OLIVEIRA, R.; RIBEIRO, L.; OLIVEIRA, A.; WILLEMEN, L. Desafios na integração do conceito de serviços e valores ecossistêmicos na gestão do planejamento da paisagem e na tomada de decisão. *Ecológico Complexidade*, v. 7, p. 260-272, 2010.
- DIAS-FILHO, M. B. Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola. In: Rodrigues, K. F.; Ferreira, W. M.; Macedo Jr, G. de L. (Org.). In: *Anais do XX Congresso Brasileiro de Zootecnia*. Palmas (TO), 2010. p. 132 e 135.
- DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapa Geomorfológico do Estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 4, 2017.
- DINIZ, M. T. M; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuais e mapeamento do tipo climático. *Tigela*. Goiás. Geogr., v. 35, n. 3, págs. 488-506, 2015.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; OLIVEIRA, A. B.; OLIVEIRA, G. G.; VIANA, J. H. M (Org.). *Manual de Métodos de análise de solos* 2 eds. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 págs.
- DUQUE, J. G. Solo e água no polígono das secas. 3ª ed., Fortaleza: Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), 1953.
- Agência Espacial Europeia. Sentinels Scientific Data Hub, 2017. Disponível online. Disponível em: Acesso: 15/12/2020.
- FARINASSO, M; CARVALHO JÚNIOR, O. Para; GUIMARÃES, R. F; GOMES, R. A. T; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS equação universal de perdas de solos usando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

- FÉLIX, V. S.; PAZ, A. R. Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída. *Revista Brasileira de Recursos Águas*, v. 21, n. 3, p.556-569, 2016.
- FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M.; OLIVEIRA, J. R.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; OLIVEIRA, A. S.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, A. J.; LIMA, A. H. S. Avaliação das mudanças no uso e cobertura da terra e valoração dos estoques de carbono no semiárido sergipano: 1992-2030. *Política de Uso da Terra*, v. 99, p. 1-13, 2020.
- RIBEIRO, A.; TURNER, R. K. Serviços Ecosistêmicos: classificação para valoração. *Conservação Biológica*, v.141, n.8, p. 1167–1169, 2008.
- GRAEFF, O. *Fitogeografia do Brasil: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Nau ed., 2015. 552 págs.
- OLIVEIRA, R.; POTSCHEIN, M. Classificação Internacional Comum de Serviços Ecosistêmicos (CICES): Consulta sobre a Versão 4, agosto-dezembro de 2012. Contrato-Quadro da Agência Europeia do Ambiente N° EEA/IEA/09/003. 2013. 34p
- RIBEIRO, R.H.; POTSCHEIN, M.B. *Metodologias para definição e avaliação de serviços ecosistêmicos*. Nottingham: Universidade de Nottingham, 2009. 69 págs.
- OLIVEIRA, R.; POTSCHEIN, M. B. Classificação Internacional Comum dos Serviços Ecosistêmicos (CICES) V5.1: orientações sobre a aplicação da estrutura revista. Nottingham: Fabis Consultoria, 2017. 31 págs.
- HOEKSTRA, J. M. et al. Enfrentando uma crise do bioma: disparidades globais de perda e proteção de habitat: enfrentando uma crise do bioma. *Cartas Ecologia*, v. 8, n. 1, p. 23-29, 3 dez. 2004.
- IRVEN, Pará; TOPALOGLU, F; UYGUR, V. Estimando a distribuição espacial da perda de solo na bacia do rio Seyhan na Turquia. *Revista de Hidrologia*, v. 336, p. 30-37, 2007.
- OLIVEIRA, R. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; STEINKE, E. T. Comportamento Hidroclimatológico fazer Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó. *Jornal Brasileiro de Meteorologia*, v. 33, p. 485-496, 2018.
- SILVA, R. P; BEZERRA, F. H. R. *Tópicos de Geomorfologia Estrutural: Nordeste Brasileiro*. Fortaleza: Edições UFC, 2014. 124 págs.
- Maia, R.P., Bezerra, F.H.R., 2020. *Geomorfologia estrutural no nordeste do Brasil*. Springer Briefs em Estudos Latino-Americanos. Springer Nature Suíça AG.
- MILHAS, L; OLIVEIRA, A. C; DEFRIES, R. S. RAVILIOUS, C. Uma visão global do estado de conservação das florestas tropicais secas. *Revista de Biogeografia*, v. 33, n. 3, p. 491–505, mar. 2006.
- MOONEY, H.; Durante; OLIVEIRA, A. S.; MEDINA, E. Introdução. In: BULLOCK, S. H; MOONEY, H.; Para; MEDINA, E. (Orgs.). *Florestas tropicais sazonalmente secas*. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 1995.
- OLIVEIRA, A. D.; BURCH, G. Bases físicas do fator comprimento-inclinação na Equação Universal de Perda de Solo. *Revista da Sociedade de Ciência do Solo da América*, n. 50, p. 1294-1298, 1986.
- RIBEIRO, A. F; OLIVEIRA, A. N; ARAÚJO, F. S; MARTINS, F. R.; Meta-análise fitogeográfica do domínio da Caatinga do semiárido brasileiro. *A Revista Botânica*, v. 82, n. 2, p. 91-148, jun. 2016.
- Ecorregiões terrestres do mundo: um novo mapa da vida na Terra. *Biociências*, v. 51, n. 11, p. 933, 2001.
- OLIVEIRA, R. T.; CARVALHO, D. E.; PENDRY, C. A. Florestas neotropicais sazonalmente secas e mudanças na vegetação quaternária. *Revista de Biogeografia*, v. 27, n. 2, p. 261-273, 2000.
- PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; RIBEIRO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação não semiárida brasileira: ocorrência natureza natural ou antropogênica? *Parc. Estrategista*. v. 17, n. 34, p. 87-106, 2012.

- PEREIRA NETO, M. C. Análise areal como subsídio aos estudos integrados da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB). *Revista Equador (UFPI)*, v. 5, n. 4, p.250-261, 2016.
- PEREIRA NETO, M. C. Predisposição à desertificação no núcleo Seridó (RN - Brasil): geoecologia de paisagens do semiárido. 2016. 195 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- RIBEIRO, M. B.; HAINES-YOUNG, R. H. Serviços ecossistêmicos: explorando uma perspectiva geográfica. *Progresso em Geografia Física*, v. 35, n. 5, p. 575-594, 2011.
- OLIVEIRA, J. A; SILVA, A. E; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação. 2. ed. São José dos Campos, Saraiva, 2012.
- PRADO, D. E. Florestas sazonalmente secas da América do Sul tropical: de ecossistemas esquecidos a uma nova unidade fitogeográfica. *Edimburgo Journal of Botany*, v. 57, n. 3, p. 437-461, nov. 2000.
- EQUIPE QGIS, Q. D. Sistema de Informação Geográfica QGIS: Free Software Foundation. 2015. Disponível em: < <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>>. Acesso em: 15/12/2020.
- RIBEIRO, D. R.; ARAÚJO, J. C. Estimativa e mapeamento da erosão bruta na bacia hidrográfica do rio Seridó, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n. 2, p. 361-372, 2019.
- OLIVEIRA, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D.; Para; OLIVEIRA, D.; OLIVEIRA, D.; QIU, H. Modelando o fluxo de CO₂ de florestas boreais usando índices de banda estreita a partir de imagens AVIRIS. In: Workshop AVIRIS, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.
- RIZZINI, A. T. Tratado de Fitogeografia do Brasil: Aspectos Ecológicos, Sociológicos e Florísticos 2. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997. 748 págs.
- RODAL, M. J. N. Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de Caatinga em Pernambuco. Tese (Doutorado Ciências/Ecologia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992. 224 págs.
- OLIVEIRA, J. W.; OLIVEIRA, R. H.; OLIVEIRA, J. A.; DEERING, D. W. Monitoramento de sistemas de vegetação nas grandes planícies com ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, Washington, 1973. Procedimento Washington: NASA, v.1, p. 309-317, 1974. Disponível em: . Acesso em: 15/12/2020.
- OLIVEIRA, E. V. S. B.; Oliveira, A.; OLIVEIRA, A.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. R. Desertificação no Brasil. Recife: Universitária UFPE, 2003. 202 págs.
- OLIVEIRA, J. C; OLIVEIRA, A. R; CORTEZ, J. S.; Para; FERNANDES, G. W; TABARELLI, M. Caatinga: A negligência científica vivenciada por uma floresta tropical seca. *Ciência da Conservação Tropical*, v. 4, n. 3, p. 276-286, set. 2011.
- SANTOS, N. M. Serviços ecossistêmicos em manguezal: identificação e mapeamento dos serviços de abastecimento de manguezais no Rio Tijupá, Ilha do Maranhão - MA, Brasil. 2018. 124 f. Dissertação - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F. Impacto das atividades humanas na Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; OLIVEIRA, A. R.; TABARELLI, M. (Org.) Caatinga: A maior região de floresta tropical seca da América do Sul. Cham, Suíça: Springer Publishing International, 2017. p. 359-368.
- SILVA, D. C. C.; MATOS, D.; OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, V. C.; LOURENÇO, R. W. Avaliação do potencial de sequestro de carbono na bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim em Sorocaba (SP). In: TULLIO, L. (org.). Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2. Ponta Grossa (PR): editora Atena, v. 2, 2018, p. 80-93.
- SILVA, R. M; MONTENEGRO, S. M. G. L; SANTOS, C. A. G. Integração de SIG e sensoriamento remoto para estimativa de perda de solo e priorização de subbacias críticas: um estudo de caso de Tapacurá captação. *Riscos Naturais*, v. 62, n. 3, p. 953-970, 2012.

- SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. D. Análises espectrais da vegetação com dados de hiperíons e sua relação com a concentração e fluxo de CO₂ em diferentes áreas Ambientais na Amazônia Brasileira. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 21, n. 2, p.354-370, 2015.
- SIYUM, ZG Dinâmica das florestas tropicais secas no contexto das mudanças climáticas: sínteses de drivers, lacunas e perspectivas de manejo. Processos ecológicos, v. 9, não. 1, p. 25, dez 2020
- SPAROVEK, G. Koppen Mapa de classificação climática para o Brasil. Jornal Meteorológico, vol. 22, não. 6, 711-728.
- VESENTINI, JW Geografia, natureza e sociedade. 4ª ed., São Paulo: Editora Contexto, 1997. 91 págs.
- WILLIAMS, J.R. Roteamento de sedimentos para bacias agrícolas. Jornal da Associação Americana de Recursos Águas, v. 11, pp. 965-974, 1975.
- WISCHMEIER, WH; SMITH, DD Prevendo perdas por erosão pluvial: um guia para planejamento de conservação. Washington: USDA. Manual de Agricultura, n. 537, p. 58p, 1978.