



DE 14 À 19 DE OUTUBRO DE 2024
DEL 14 AL 19 DE OCTUBRE DE 2024

V SLACTIA

SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA
SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA AGROPECUARIA

POLÍTICAS PÚBLICAS COMPARADAS

MODELO MATEMÁTICO ALTERNATIVO PARA O PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS VIA SISTEMA NACIONAL DE CRÉDITO RURAL

Luciano Gonçalves de Lima ¹

Afonso Aurélio de Carvalho Peres ²

Antonio José Alves Junior ³

Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva ⁴

RESUMO

O artigo tem como objetivo apresentar um modelo matemático alternativo, que viabiliza o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) em financiamento de projetos sustentáveis, operacionalizados via Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR). Essa modelagem integra uma pesquisa de mestrado, desenvolvida junto ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – PGTA/UFF, ancorada cinco variáveis matemáticas, quais sejam: 1) Operação de Crédito Rural (OCR); 2) Índice de Serviço Ambiental (ISA); 3) Taxa de Juros (TJ) e 4) Área de Influência do Serviço Ambiental (AISA) e 5) Custo de Oportunidade (CO). Demonstrar-se-á, aqui, o comportamento do modelo matemático, em condições reais de campo, envolvendo o imóvel “A” localizado no Município de Nova Friburgo-RJ e o imóvel “B” localizado no Município de Bom Jardim-RJ. Em ambos os casos, os resultados apontam para viabilidade de fusão da Política Ambiental com a Política Agrícola, por meio dos esquemas de PSA via SNCR, considerando que foram gerados incentivos da ordem de R\$ 1.026,23 e R\$ 1.040,0074, por hectare, para os proprietários dos imóveis A e B respectivamente.

Palavra-chave: Modelo Matemático, Projetos Rurais Sustentáveis, Financiamento Rural e Serviços Ecossistêmicos.

¹ Engenheiro Agrônomo com atuação na área de agronegócio e crédito rural, pesquisador no PGTA/UFF e PPGCTIA/UFRRJ; limaluciano@id.uff.br; lucianolima@ufrj.br.

² Zootecnista; Doutor em Ciência Animal; Mestre em Produção Animal pela UENF; Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da UFF; afonsoaurelio@id.uff.br

³ Economista; Doutor em Economia da Indústria e da Tecnologia pela UFRJ; Professor Titular do Departamento de Ciências Econômicas e membro permanente do PPGCTIA/UFRRJ; antonioj@ufrj.br.

⁴ Economista; Doutora em Desenvolvimento Econômico pela UNICAMP; Professora associada da Universidade Federal Fluminense, professora do PGTA/UFF; robertapaz@id.uff.br.

ALTERNATIVE MATHEMATICAL MODEL FOR PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL SERVICES VIA THE NATIONAL RURAL CREDIT SYSTEM

ABSTRACT

The aim of this article is to present an alternative mathematical model that makes Payment for Environmental Services (PES) feasible for financing sustainable projects operated via the National Rural Credit System (SNCR). This modeling is part of a master's research project carried out at the Postgraduate Program in Environmental Technology (PGTA/UFF), based on five mathematical variables, namely: 1) Rural Credit Operation (OCR); 2) Environmental Service Index (ISA); 3) Interest Rate (TJ) and 4) Area of Influence of the Environmental Service (AISA) and 5) Opportunity Cost (CO). The behavior of the mathematical model will be demonstrated in real field conditions, involving property "A" located in the Municipality of Nova Friburgo-RJ and property "B" located in the Municipality of Bom Jardim-RJ. In both cases, the results point to the viability of merging environmental policy with agricultural policy, through PES schemes via the SNCR, considering that incentives in the order of R\$1,026.23 and R\$1,040.0074 per hectare were generated for the owners of properties A and B respectively.

Keywords: Mathematical Modeling, Sustainable Rural Projects, Rural Financing and Ecosystem Services.

MODELO MATEMÁTICO ALTERNATIVO PARA EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES A TRAVÉS DEL SISTEMA NACIONAL DE CRÉDITO RURAL

RESUMEN

El objetivo de este artículo es presentar un modelo matemático alternativo que viabilice el Pago por Servicios Ambientales (PSA) para la financiación de proyectos sostenibles a través del Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR). Esta modelación forma parte de un proyecto de investigación de maestría realizado en el Programa de Posgrado en Tecnología Ambiental (PGTA/UFF), basado en cinco variables matemáticas, a saber: 1) Operación de Crédito Rural (OCR); 2) Índice de Servicio Ambiental (ISA); 3) Tasa de Interés (TJ) y 4) Área de Influencia del Servicio Ambiental (AISA) y 5) Costo de Oportunidad (CO). El comportamiento del modelo matemático será demostrado en condiciones reales de campo, involucrando la propiedad «A» localizada en el municipio de Nova Friburgo-RJ y la propiedad «B» localizada en el municipio de Bom Jardim-RJ. En ambos casos, los resultados apuntan a la viabilidad de la fusión de la política ambiental con la política agrícola, a través de esquemas de PSA vía el SNCR, considerando que se generaron incentivos del orden de R\$1.026,23 y R\$1.040,0074 por hectárea para los propietarios de las propiedades A y B respectivamente.

Palabras clave: Modelo matemático, proyectos rurales sostenibles, financiación rural y servicios ecosistémicos.

1. INTRODUÇÃO

A literatura especializada faz referência ao processo de modelagem como sendo uma ferramenta de transformação da realidade, a partir de uma situação ou problema não-matemático, com efeito sobre o universo das relações humanas e do meio ambiente, por meio da matemática. De forma que os modelos matemáticos têm aplicação em muitos campos da atividade humana, tais como: Agronomia, Matemática, Economia, Física, Química, Biologia, Psicologia, Comunicação, Astronomia e Engenharia (COSTA; PONTAROLO; TEIXEIRA, 2021; LEITE; FERREIRA; SCRICH, 2009; OLIVEIRA et al., 2015).

Numa outra concepção, Kluber e Burak (2008), defendem os procedimentos de modelagem matemática como um conjunto de técnicas cujo objetivo é construir um paralelo para tentar explicar, matematicamente, os fenômenos presentes no cotidiano do ser humano, ajudando-o a fazer previsões e a tomar decisões de forma rápida, eficiente e confiável. Essa estratégia se mostra adequada à proteção ambiental e pró-ativa à efetivação de uma análise mais racional, preventiva, e menos subjetiva dos riscos de impacto decorrentes das ações antrópicas (ALBUQUERQUE VIEIRA; DE SOUSA VIEIRA; COSTA, 2023).

A modelagem proposta aqui integra uma pesquisa de mestrado, desenvolvida junto ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – PGTA/UFF, ancorada cinco variáveis matemáticas, quais sejam: 1) Operação de Crédito Rural – OCR; 2) Índice de Serviço Ambiental – ISA; 3) Taxa de Juros – TJ; 4) Área de Influência do Serviço Ambiental – AISA e 5) Custo de Oportunidade – CO. Esses cinco indicadores foram confrontados, via estudo de caso com algumas situações-problema, envolvendo dois imóveis rurais da Região Serrana Fluminense e, na sequência, buscou-se observar, analisar, interpretar e validar o modelo a partir dos dados-resposta (BERTONE; BASSANEZI; JAFELICE, 2014).

Em que pese o alcance global do tema, o trabalho tem como objeto de estudo a paisagem rural da serra fluminense, ainda em processo de transformação, em virtude da pressão exercida por 14.991 estabelecimentos agropecuários, que ocupam uma área de 365.638 hectares, com

geomorfologia⁵ ambiental complexa, distribuídos entre os 13 municípios. Todos com questões ambientais não resolvidas; tanto no meio urbano quanto rural, em virtude de falhas na gestão pública e privada dos recursos naturais (AGUIAR; SANS; PARUELO, 2017; IBGE, 2017; LOPEZ et al., 2023).

Nesse mesmo espaço geográfico coabitam duas realidades distintas. De um lado, em maior escala, persistem os sistemas agrícolas convencionais, caracterizado pelo manejo inadequado do solo, uso excessivo de agrotóxicos e suscetibilidade à erosão (ANTONIO; ASSIS; AQUINO, 2021; DA SILVA et al., 2023). De outro, percebe-se também algum nível de resistência de sistemas orgânicos, ecológicos, biodinâmicos ou regenerativos (AUN; ASSIS, 2021; JOSÉ BOSETTI; LUNARDI NETO; LANGE, 2020; KAMIYAMA, 2011).

Nesse contexto, quando os agricultores são responsáveis por serviços ambientais, gerando benefícios coletivos, alguns especialistas defendem o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), contudo persistem dúvidas sobre qual a melhor estratégia de remuneração. Assim, após colher elementos e refletir sobre o assunto, chegou-se ao problema central desta pesquisa, qual seja: como recompensar financeiramente os agricultores, da Região Serrana Fluminense, que prestam serviços ambientais?

A implementação de novas ações de PSA se reveste de enorme importância, na medida em que o incentivo financeiro tem potencial para reverter a pressão sobre os recursos naturais, assegurando, desta forma, a integridade dos serviços ecossistêmicos e sua disponibilidade para as gerações futuras (CHECHI; BOSCARDIN; OLIVEIRA, 2019; GUERRA; RANIERI, 2023).

Nessa linha, o Instituto o Direito por um Planeta Verde⁶, ao avaliar alguns esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) implantados no Brasil, evidenciou que o incentivo

⁵ Geomorfologia como campo científico tem, por fundamento primário, considerar e interpretar as distintas morfologias do relevo.

⁶ É uma entidade sem fins lucrativos que trabalha em prol da pesquisa, aprimoramento e consolidação da legislação ambiental. Disponível em: <http://www.planetaverde.org/quem-somos>. Consulta realizada em 10/11/2023.

financeiro dado aos agricultores tem potencial para alavancar os serviços ambientais, gerando benefícios para o planeta (TEJEIRO; STANTON, 2014).

Do mesmo modo, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em “Lições aprendidas na conservação e recuperação da Mata Atlântica”, publicação de 2013, mesmo sem apresentar o devido detalhamento, defendeu a fusão do instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) com outras políticas públicas de promoção de arranjos produtivos locais ou de crédito rural, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (MMA, 2013).

Assim, no campo das hipóteses, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), via Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), delineado como uma solução provável para o problema acima proposto, testado em multicasos, envolvendo o imóvel “A” localizado no Município de Nova Friburgo-RJ e o imóvel “B” localizado no Município de Bom Jardim-RJ, além de encontrar suporte no meio científico, atende algumas demandas antigas de produtores rurais e ambientalistas, quais sejam: 1) interação entre política ambiental e agrícola; 2) incentivo aos projetos agropecuários sustentáveis; 3) incentivo à transição agroecológica 4) reconhecimento da figura do protetor-recebedor.

Para se atingir os objetivos específicos⁷ buscou-se uma metodologia híbrida, com uma modelagem matemática própria, viabilizando a precificação dos serviços ambientais prestados pelos produtores rurais, da Região Serrana Fluminense, a partir de uma pesquisa de natureza básica, descritiva quanto aos seus objetivos, com procedimentos de caráter documental, bibliográficos, enriquecidos com estudo de caso.

Essa caminhada científica está aderente aos princípios de Antonio Carlos Gil, para quem a coleta de dados pode ter como fonte os papéis ou as pessoas (GIL, 2008). No primeiro grupo, está presente a pesquisa bibliográfica e documental e, no segundo, a pesquisa experimental, a pesquisa ex-post-facto, o levantamento, o estudo de campo e o estudo de caso (PRODANOV, 2013).

⁷ Objetivos específicos: 1) desenvolver um modelo matemático alternativo de PSA via SNCR; 2) testar o modelo em duas propriedades rurais; 3) verificar o desempenho e aplicabilidade do modelo criado.

Assim, no processo de validação do modelo, nas ações de trabalho de campo, buscou-se avaliar o nível de manejo das áreas estudadas, considerando as características dos ecossistemas e os serviços ambientais prestados pelos agricultores. Essa fase também contemplou uma análise criteriosa de alguns documentos (Matrícula, CAR, CCIR, ITR e Certificação).

Destarte, em sintonia com os determinantes de inovação retratados por Pagiola, Von Glehn e Taffarello (2013b), que defendem o uso de modelos matemáticos para diferenciar os níveis de pagamento de acordo com os benefícios ambientais gerados pelos provedores, chegou-se ao modelo alternativo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) via Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR).

O presente trabalho justifica-se em razão do potencial do modelo para viabilizar o aumento de financiamento em projetos agropecuários sustentáveis, implicando em maior proteção para o agroecossistema da serra fluminense, decorrente da adesão de novos protetores-recebedores, atraídos pelo incentivo financeiro, ao Sistema Nacional de Crédito Rural.

O trabalho está estruturado em sete seções, contando com esta introdução (1). A próxima forma o desenvolvimento e contempla: as etapas executadas no desenvolvimento do modelo (2); as condições para aplicação do modelo matemático (3); quadro resumo do modelo matemático (4); estudo de caso da unidade produtiva “A” (5); estudo de caso da unidade produtiva “B” (6) e a conclusão (7).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 ETAPAS EXECUTADAS NO DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Inicialmente, cabe ressaltar que o modelo matemático proposto é fruto da experiência profissional, deste autor, em situações que têm como referência o universo do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR). Tal como proposto por Brandt, Burak e Kluber (2016), essa vivência foi enriquecida, problematizada e investigada nos últimos 24 meses, no ambiente de aprendizagem do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental (PGTA), por meio de procedimentos orientados para explicar, matematicamente, uma demanda ambiental a partir de uma visão sociocrítica (SILVA; KATO, 2012).

Essa preocupação ambiental, que ecoou no discurso de Daly (2007), um dos fundadores da economia ecológica, ao retratar o processo de exploração dos recursos naturais, utilizando os conceitos de “mundo cheio” e “mundo vazio”, numa crítica aos padrões de consumo incompatíveis com a integridade dos ecossistemas, também justifica ações de PSA via SNCR, em razão dos efeitos benéficos sobre o agroecossistema.

Além disso, vale registrar que o Sistema Nacional de Crédito Rural foi concebido para incentivar a introdução de métodos racionais de produção, visando o aumento da produtividade, a melhoria do padrão de vida das populações rurais e o manejo eficiente dos recursos naturais (LI; ARAÚJO, 2018).

De forma que os múltiplos processos de interação, estudo e matematização foram fundamentais para se chegar ao modelo matemático de PSA via SNCR, tal como proposto por Chaves et al (2020) . Na Figura 1 é possível identificar todas as etapas percorridas nesta pesquisa, para fins de validação do modelo.

Figura 1 - Etapas do modelo proposto para PSA via SNCR



Fonte: Autoria própria.

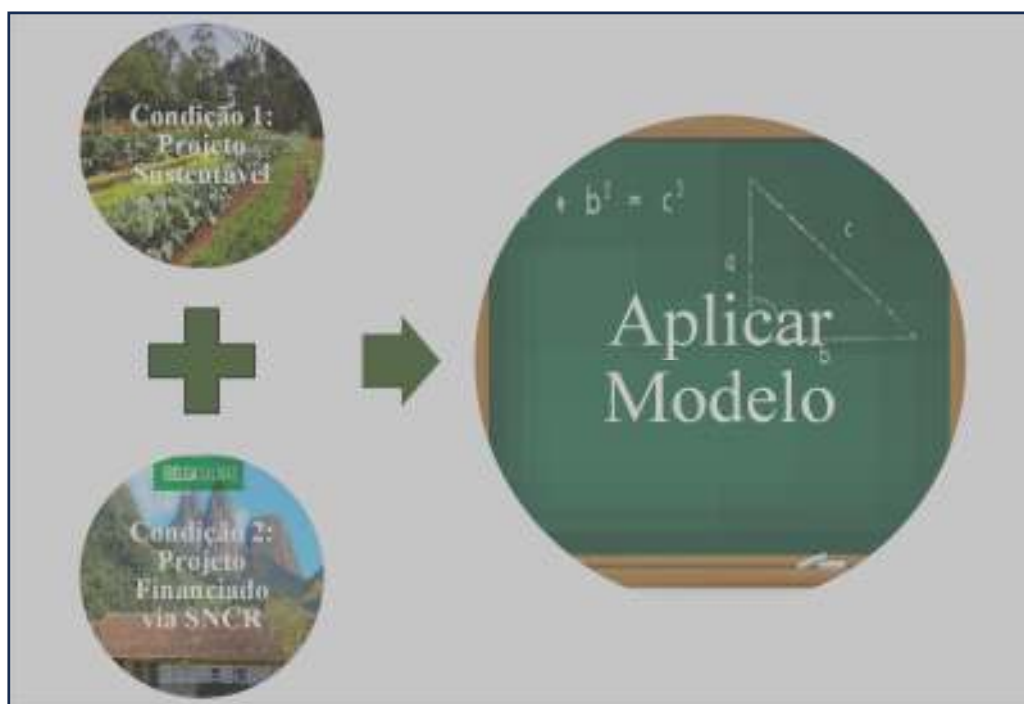
Em termos de atratividade, é oportuno salientar que a modelagem tem potencial para mitigar o efeito da taxa de juros, incidente sobre os projetos rurais sustentáveis, financiados com recursos controlados através do Sistema Nacional de Crédito Rural – SNCR. Logo, na

hipótese de adequação dos projetos financiados, além de ser beneficiado pelo subsídio agrícola, o produtor receberia um incentivo financeiro na forma de PSA.

2.2 AS CONDIÇÕES PARA APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

A condição primária para uso e aplicação da ferramenta é o financiamento de projetos sustentáveis, desenvolvidos no campo da agricultura orgânica, ecológica, regenerativa, sistemas agroflorestais, sistemas integrados, plantio direto, dentre outros. Além disso, a aplicação do modelo exige, enquanto condição secundária, que o projeto sustentável tenha sido financiado através do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), conforme Figura 2.

Figura 2 - Condição para aplicação do modelo matemático PSA-SNCR



Fonte: Autoria própria.

2.3 QUADRO RESUMO DO MODELO MATEMÁTICO

A equação geral do modelo contempla: 1) Operação de Crédito Rural (OCR); 2) Índice de Serviço Ambiental (ISA); 3) Taxa de Juros (TJ); 4) Área de Influência do Serviço Ambiental (AISA) e 5) Custo de Oportunidade (CO). O Índice de Serviço Ambiental (ISA), por sua vez, encontra suporte na metodologia proposta por Humbel, Melle e Bollmann (2011) e juntamente com o Custo de Oportunidade formam a base do modelo, conforme Figura 3 e Quadro 1.

Figura 3 - Equação geral do modelo matemático

$$\text{PSA(SNCR)} = \frac{\text{OCR} \times (1 + \sum \text{ISA}) \times \text{TAXA DE JUROS}}{\text{AISA}}$$

Fonte: Autoria própria.

Quadro 1 - Componentes do modelo matemático

PSA-SNCR	Valor de Referência para Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) via Sistema Nacional de Crédito Rural – PSA/SNCR (em R\$/hectare)
CO	O custo oportunidade representa a RBA, de 01 ha, não obtida, em razão do mesmo 01 ha preservado (R\$/hectare).
ISA	Índice de Serviço Ambiental - calculado a partir da “Quadro de Valoração”, conforme proposta de Humbel, Melle e Bollmann (2011), com valor entre 0 e 1.
RCR	Referencial de Crédito Rural (deve ser um valor inferior a 75% da RBA).
OCR	Operação de Crédito Rural (R\$/hectare/ano).
TAXA DE JUROS	Taxa da operação de crédito, em %. Esse indicador é tornado público pelo Governo Federal, todos os anos, no final de junho.
AISA	Área de Influência do Serviço Ambiental prestado ou área de influência de algum projeto com impacto positivo sobre o ecossistema (RL, APP ou área agrícola sustentável).

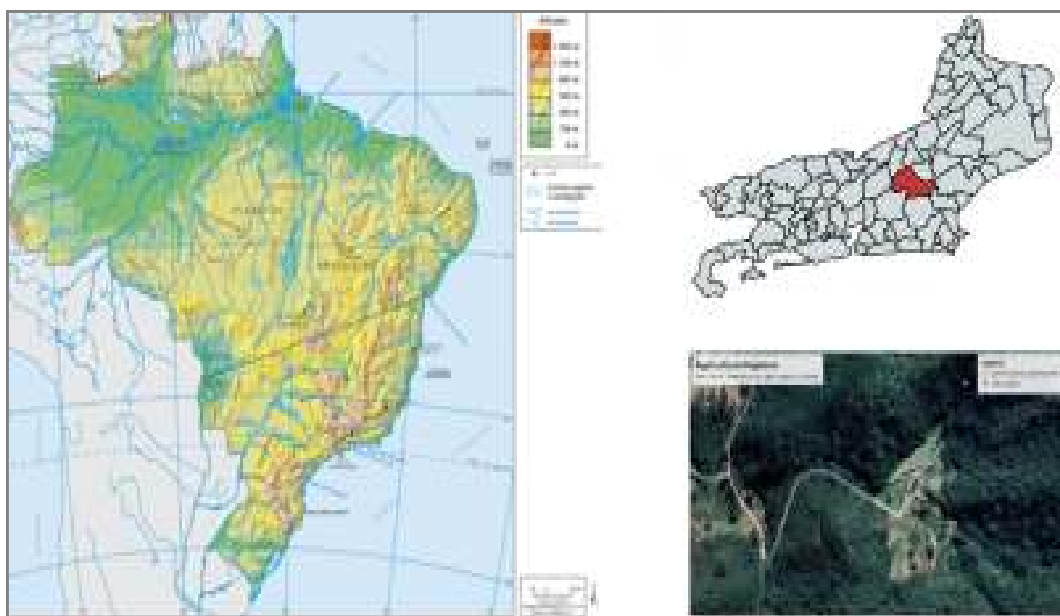
Fonte: Autoria própria.

2.4 ESTUDO DE CASO – UNIDADE PRODUTIVA “A”

Caracterização do imóvel rural

O imóvel está localizado no município de Nova Friburgo-RJ, nas coordenadas 22° 17.856’ S e 42° 27.595’ O, com 1.100 m de altitude, contando com um sistema de produção orgânico certificado pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e pela Associação dos Agricultores Biológicos do Rio de Janeiro (ABIO) (Figura 3).

Figura 3 - Propriedade “A” – Nova Friburgo



Fonte: Construção do autor, via Google Pro (2023).

A unidade de produção, integra-se perfeitamente com o Bioma Mata Atlântica, na Região Serrana do Rio de Janeiro, tendo como elemento de destaque o perfil conservacionista da proprietária, que mantém uma reserva legal equivalente a 80%, quando o nível de exigência do bioma é 20%. Essa conduta, além de proteger o capital natural, agrega valor ao imóvel em razão da ampliação dos serviços ecossistêmicos.

Custo médio de oportunidade

Corresponde ao valor de R\$ 69.942,98 por hectare, conforme Quadro 2. Esse valor, é importante ressaltar, está muito próximo do custo estabelecido para o Município de Nova Friburgo, que foi estimado em R\$ 70.709,59 / ha, pela empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro, em trabalho denominado Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola – ASPA⁸.

⁸ Publicação de 2022 Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro – EMATER – RIO /CPLAN/NIDOC.

Quadro 2 - Diagnóstico de “A” com indicadores do modelo matemático

Atividade Agrícola Explorada	Olericultura
Área Efetivamente Utilizada (hectares)	3,5080
Área Explorada Rotação / Pousio (hectares)	5,0601
Área Aproveitável	9,1090
Área Total do Imóvel	34,7097
Sistema de Exploração	Orgânico
Receita Bruta Agropecuária – RBA (R\$/ano)	245.360,00
Custo de Produção – CP (R\$/ano)	147.216,00
Custo Médio de Oportunidade (R\$/hectare)	69.942,98

Fonte: Construção do autor a partir de documentos do imóvel (2023).

Índice de serviço ambiental

Para o cálculo ISA da propriedade “A” foram utilizadas informações do diagnóstico realizado em 03 de março de 2023, período em que tivemos acesso aos documentos fornecidos pela proprietária, tais como: 1) Certificado de Produção Orgânica (CPO); 2) Cadastro Ambiental Rural (CAR); 3) Imposto Territorial Rural (ITR); 4) Matrícula do Imóvel (RGI); 5) Certificado de Cadastro do Imóvel Rural (CCIR); 5) Cadastro da Agricultura Familiar (CAF); 6) Comprovantes de vendas e fluxo de caixa.

Além do mais, o trabalho de campo viabilizou o levantamento do custo de produção de cada atividade, dos indicadores de produtividade, dos preços de vendas, da necessidade de custeio, do perfil tecnológico da unidade produtiva, das características dos sistemas produtivos, dos níveis de manejo empregado, do grau de eficiência no uso da terra e dos indicadores ambientais do imóvel (APP, RL, recursos hídricos e solo), resultando no ISA calculado no Quadro 3.

Quadro 3 - Índice de Serviço Ambiental – ISA

Serviço Ambiental	Avaliação (Sim / Não)	Pontuação
Compreensão sobre Serviços Ecossistêmicos	Sim	1,00
Compreensão sobre Serviços Ambientais	Sim	1,00
Compreensão sobre Responsabilidade Social	Sim	1,00
Integridade da Reserva Legal	Sim	1,00
Integridade das APP's	Sim	1,00
Integridade Física do Solo	Sim	1,00
Integridade Química do Solo	Sim	1,00
Manejo Adequado do Solo	Sim	1,00
Agricultura Orgânica Certificada	Sim	1,00
Agricultura Ecológica	Sim	1,00
Manejo do Agroecossistema	Sim	1,00
Sequestro de Carbono (APP e RL)	Sim	1,00
Autorização da APA para Atividade Agrícola	Sim	1,00
Cadastro da Agricultura Familiar (CAF)	Sim	1,00
Cadastro Ambiental Rural - CAR	Sim	1,00
Cadastro Produtor Rural na UF	Sim	1,00
Experiência em Crédito Rural no SNCR	Sim	1,00
Desempenho do Produtor Rural - DPR	-	17,00
Índice (ISA) - número entre 0 e 1	-	1,00

Fonte: Autoria própria.

Enquadramento do produtor rural

A proprietária atende todos os requisitos do Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF). Logo, é público-alvo do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), conforme Quadro 4. Em razão disso, poderá acessar os produtos do Quadro 5.

Quadro 4 - Cadastro Nacional da Agricultura Familiar “A”

Área do Imóvel	34,70 hectares	Atende
Módulos Fiscais	3,47	Atende
Receita Bruta Agropecuária (RBA)	R\$ 245.000,00	Atende
Outras Receitas	R\$ 104.000,00	Atende
Residência da Proprietária	Na propriedade	Atende
Renda da produção primária	Igual ou superior a 50%	Atende
Cadastro Nacional Agricultura Familiar - CAF	Pronaf	Sim

Fonte: Construção do autor a partir de diagnóstico da unidade de produção (2023).

Quadro 5 – Alternativas para o proprietário de "A" no SNCR

Produtos / Benefícios do Pronaf	Efeitos / Características
Taxa de Juros (custeio)	3% a.a (Faixa III - Produtos da sociobiodiversidade, orgânicos, agroecológicos ou em transição)
Taxa de Juros (investimento)	6% a.a
Teto (custeio)	R\$ 250.000,00
Teto (investimento)	R\$ 250.000,00
Proagro (seguro)	Com subvenção
PNAE (garantia de mercado)	Venda para alimentação escolar
PAA (garantia de mercado)	Programa de Aquisição de Alimentos do Governo Federal
PGPAF (garantia de preço mínimo)	O Programa de Garantia de Preço para a Agricultura Familiar

Fonte: Autoria própria.

Aplicação do modelo matemático

Após elegibilidade para o PSA – práticas tradicionais, em razão da produção orgânica e enquadramento no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), conforme Quadro 5. O próximo passo é aplicar o modelo proposto, considerando os indicadores do quadro 6 e as equações do Quando 7.

No campo prático, o modelo matemático visa mitigar o efeito da taxa de juros, envolvida na operação de crédito rural, recompensando financeiramente o agricultor, em razão da provisão de serviços ambientais vinculado ao manejo orgânico.

A análise recairá sobre uma operação de custeio agrícola, da proprietária de “A”, considerando uma situação hipotética, na qual a proponente busca no Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) os recursos necessários para cobrir suas despesas normais (insumos e serviços), do ciclo produtivo anual.

Em trabalho de campo, verificou-se um custo de produção real de R\$ 147.239,40 por ano. Neste caso, considerou-se, para fins de validação do modelo, uma operação de crédito no valor de R\$ 100.000,00, ancorada numa taxa de juros de 3% a.a, conforme regras vigentes do Plano Safra 2023/2024.

Quadro 6 - Componentes para aplicação do modelo em operação de custeio

Área Efetivamente Utilizada no Cultivo (em hectare)	3,5080
Receita Bruta Agropecuária - RBA (em R\$)	245.360,00
Custo de Oportunidade – CO (em R\$)	245.360,00
Custo de Produção – CP (R\$)	147.216,00
Operação de Crédito Rural – OCR / Modalidade Custeio (em R\$)	100.000,00
Índice de Serviço Ambiental – ISA	1,0
Referencial de Crédito Rural – RCR ($\leq 75\%$)	0,41
Área de Influência do Serviço Ambiental – AISA (em hectare)	3,51
Taxa de Juros – SNCR	0,03

Fonte: Autoria própria.

Resultados alcançados

Quadro 7 - Equações para cálculo de PSA – Práticas tradicionais

I	$PSA(SNCR) = \frac{CO \times (1 + \sum ISA) \times RCR \times TAXA \text{ DE JUROS}}{AISA}$	II	$RCR = \frac{OCR}{CO} \leq 75\%$
III	$PSA(SNCR) = \frac{CO \times (1 + \sum ISA) \times OCR \times TAXA \text{ DE JUROS}}{AISA \times CO}$	IV	$PSA(SNCR) = \frac{OCR \times (1 + \sum ISA) \times TAXA \text{ DE JUROS}}{AISA}$
$PSA(SNCR) = \frac{100.000,00 \times 1,0 \times 0,03}{3,51} = R\$ 855,19/ha$			

Fonte: Autoria própria.

Desta forma, a proprietária de “A”, elegível para fins de PSA – práticas tradicionais, recorre ao Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) para realizar uma operação de custeio agrícola de R\$ 100.000,00 (cem mil reais), com taxa de juros de 3% a.a e área financiada de 3,51 hectares (AISA), por meio de um contrato cuja liquidação deverá ser realizada em até 12 meses.

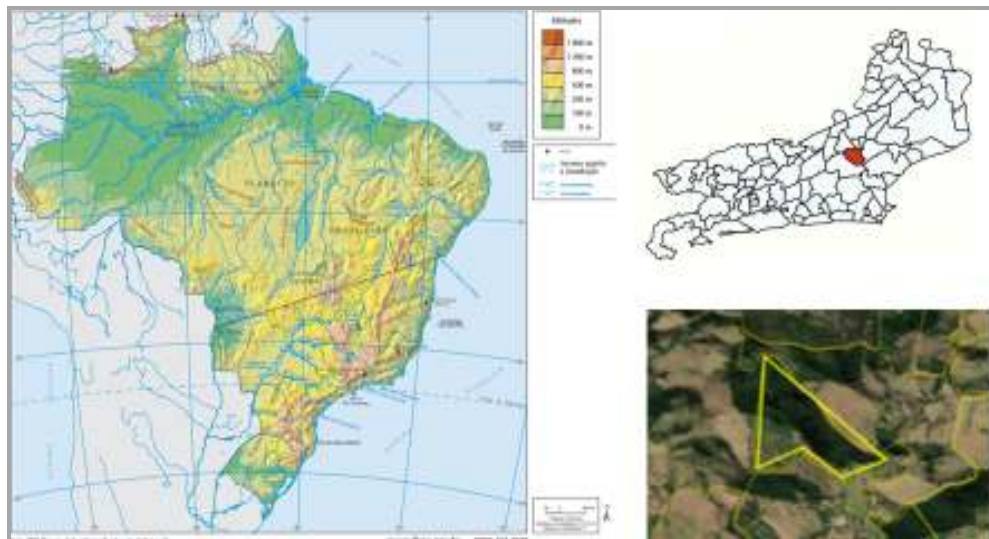
O modelo matemático retornou o valor de R\$ 855,19 / hectare (Quadro 7), como resultado. Isso significaria um incentivo de R\$ 855,19 / hectare / por ano para “A”, totalizando R\$ 3.000,00 para os 3,51 hectares (AISA). Neste caso, a produtora conseguiria, via PSA-SNCR, reduzir integralmente o efeito da taxa de juros sobre o custeio contratado, com recurso controlado, em qualquer instituição financeira do SNCR.

2.5 ESTUDO DE CASO – UNIDADE PRODUTIVA “B”

Caracterização do imóvel rural

Unidade experimental localizada no município de Bom Jardim, nas coordenadas 22°10'27,23" S 42°19'26,23" O, com 710 m de altitude. A exploração agrícola é no segmento da cafeicultura, como sistema de produção em processo de transição agroecológica, conforme Figura 28.

Figura 4 - Propriedade “B” – Bom Jardim



Fonte: Construção do autor a partir de IBGE SICAR (2023).

A propriedade “B” localizada no Distrito de Barra Alegre, Bom Jardim-RJ, foi adquirida em 1827 por um grupo familiar de origem alemã. O imóvel possui uma área de 113,21 hectares (4,52 módulos fiscais). Logo, pelo princípio da dimensão, enquadra-se como média propriedade rural. No imóvel explora-se 42 hectares com o cultivo de café arábica, com produtividade de 1500 Kg/ha. Trata-se de uma área cujo proprietário tem buscado uma transição agroecológica, pois o café, hoje beneficiado na propriedade, exige qualidade.

Figura 5 – Foto de visita propriedade “B” em 04/03/2023



Fonte: Construção do autor (2023).

As diversas ações pró-sustentabilidade, desenvolvida pelo proprietário do imóvel, foram responsáveis pela vinculação da unidade produtiva “B” como objeto de estudo, da presente pesquisa.

Custo médio de oportunidade

Para fins de diagnóstico, os indicadores foram levantados em estudo de campo realizado em 04 de março de 2023. Na ocasião foram coletadas todas as informações técnicas utilizadas no cálculo do Índice de Serviço Ambiental (ISA) , conforme Humbel, Melle e Bollmann (2011). O Quadro 8 registra um Custo Médio de Oportunidade (CMO) de R\$ 30.000,00, por hectare explorada na Propriedade “B”. Neste caso, verifica-se um valor equivalente a 78,66% do custo médio de oportunidade de Bom Jardim, estimado em R\$ 38.138,81.

Quadro 8 - Diagnóstico de “B” com indicadores do modelo matemático

Atividade Agrícola Explorada	Cafeicultura
Área Efetivamente Utilizada (hectares)	42
Área Explorada Rotação / Pousio (hectares)	0,0
Área Aproveitável (hectares)	75
Área Total do Imóvel	113,2149
Sistema de Exploração	Convencional em transição
Receita Bruta Agropecuária – RBA (R\$/ano)	1.260.000,00
Custo de Produção – CP (R\$/ano)	793.800,00
Custo Médio de Oportunidade (R\$/hectare)	30.000,00

Fonte: Construção do autor a partir de documentos do imóvel (2023).

Índice de Serviço Ambiental

Para o cálculo ISA da propriedade “B” (Quadro 9) foram utilizadas informações do diagnóstico realizado em 04 de março de 2023, período em que tivemos acesso aos documentos fornecidos pela proprietária, tais como: 1) Cadastro Ambiental Rural (CAR); 3) Imposto Territorial Rural (ITR); 4) Matrícula do Imóvel (RGI); 5) Certificado de Cadastro do Imóvel Rural (CCIR).

Quadro 9 - Índice de Serviço Ambiental - ISA

Serviço Ambiental	Avaliação (Sim ou Não)	Pontuação
Compreensão sobre Serviços Ecossistêmicos	Não	0,00
Compreensão sobre Serviços Ambientais	Não	0,00
Compreensão sobre Responsabilidade Social	Sim	1,00
Integridade da Reserva Legal	Sim	1,00
Integridade das APP's	Sim	1,00
Integridade Física do Solo	Sim	1,00
Integridade Química do Solo	Sim	1,00
Manejo Adequado do Solo	Sim	1,00
Agricultura Orgânica Certificada	Não	0,00
Agricultura Ecológica	Não	0,00
Manejo Sustentável do Agroecossistema	Sim	1,00
Sequestro de Carbono	Sim	1,00
Autorização da APA para Atividade Agrícola	Sim	1,00
Cadastro Ambiental Rural (CAR)	Sim	1,00
Cadastro Produtor Rural na UF	Sim	1,00
Nível Elevado de Preservação do Capital Natural	Não	0,00
Capital Humano Capacitado em Meio Ambiente	Não	0,00
Experiência em Crédito Rural no SNCR	Sim	1,00
Desempenho do Produtor Rural - DPR	-	12,00
Fator (FP) - número entre 0 e 1	-	0,6667

Fonte: Autoria própria.

Enquadramento do produtor rural

O proprietário atende todos os requisitos do Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural. Logo, é público-alvo do Pronamp, conforme Quadro 10, com possibilidade de acesso aos subsídios do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) patrocinados pelo Governo Federal, via Política Agrícola. E, portanto, tem direito aos benefícios do Quadro 11.

Quadro 10 - Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural “B”

Área do Imóvel	113,2149 hectares	Atende
Módulos Fiscais	4,5286	Atende
Receita Bruta Agropecuária –	R\$ 1.260.000,00	Atende
Outras Receitas	R\$ 0,000,00	Atende
Residência da Proprietária	Não se aplica	-
Pronamp	-	Atende

Fonte: Construção do autor a partir de diagnóstico da unidade de produção (2023).

Quadro 11 - Benefícios do enquadramento no Pronamp “B”

Produto	Linha	Características	Teto	Taxa	Carência	Prazo
Pronamp	Custeio	fomento de insumos do ciclo produtivo da atividade	R\$ 1.500.000,00	8%	não tem	1 a 3 anos
Pronamp	Investimento	financiamento diversos para itens utilizados de vários ciclos produtivos	R\$ 600.000	8%	até 3 anos	8 anos

Fonte: Autoria própria.

Aplicação do modelo matemático

Após elegibilidade para PSA – transição, em razão do uso de algumas práticas sustentáveis e enquadramento no Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (Pronamp), conforme Quadro10, o próximo passo é aplicar o modelo matemático proposto, considerando os indicadores do Quadro 12 e a fórmula proposta no Quadro 13.

É sabido que o modelo tem o propósito de mitigar o efeito da taxa de juros, envolvida na operação de crédito rural, recompensando financeiramente o agricultor, em razão da provisão de serviços ambientais vinculados ao manejo sustentável que será adotado pelo proprietário de “B” na condução dos cafezais.

O modelo será aplicado sobre uma operação de custeio agrícola, do proprietário de “B”, considerando uma situação hipotética, na qual ele busca no Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) os recursos para cobrir as despesas normais (insumos e serviços) dos ciclos produtivos da lavoura de café arábica.

Em trabalho de campo, verificou-se um custo de produção de R\$ 793.800,00. Neste caso, simular-se-á um contrato de custeio no valor de R\$ 189.000,00, ancorado numa taxa de juros de 8% a.a, conforme regras vigentes do Plano Safra 2023/2024. O valor de custeio tem relação direta com o tamanho da Área de Influência do Serviço Ambiental (AISA) e com o valor de custeio por hectare de café cultivado.

Quadro 12 - Variáveis para aplicação do modelo de matemático / custeio

Área Efetivamente Utilizada no Cultivo (em hectare)	42
Receita Bruta Agropecuária - RBA (em R\$)	1.260.000,00
Custo de Oportunidade – CO (em R\$)	1.260.000,00
Custo de Produção – CP (R\$)	793.800,00
Operação de Crédito Rural – OCR / Modalidade Custeio (em R\$)	189.000,00
Índice de Serviço Ambiental – ISA	0,67
Referencial de Crédito Rural – RCR (≤ 75%)	0,15
Área de Influência do Serviço Ambiental – AISA (em hectare)	10
Taxa de Juros – SNCR	0,08

Fonte: Autoria própria

Resultados alcançados

Quadro 13 - Equações para cálculo do PSA – transição em operação de custeio

I	$PSA(SNCR) = \frac{CO \times (1 + \sum ISA) \times RCR \times TAXA \text{ DE JUROS}}{AISA}$	II	$RCR = \frac{OCR}{CO} \leq 75\%$
III	$PSA(SNCR) = \frac{CO \times (1 + \sum ISA) \times OCR \times TAXA \text{ DE JUROS}}{AISA \times CO}$	IV	$PSA(SNCR) = \frac{OCR \times (1 + \sum ISA) \times TAXA \text{ DE JUROS}}{AISA}$
$PSA(SNCR) = \frac{189.000,00 \times 0,671 \times 0,08}{10} = R\$ 1.013,04/ha$			

Fonte: Autoria própria.

Na hipótese em questão o proprietário de “B” elegível, para fins de PSA – transição, ao recorrer ao Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) para realizar uma operação de Custeio no valor de R\$ 189.000,00, com taxa de juros de 8% a.a e área financiável de 10 hectares (AISA), para liquidação em até 12 meses.

Nesse caso, o modelo proposto retornou o valor de R\$ 1.013,04 /hectare, como resultado da equação IV, do Quadro 13. De forma que o proponente, em razão dos 10 hectares da Área de Influência do Serviço Ambiental (AISA), poderá ser ressarcido em até R\$ 10.130,40. Esse valor de incentivo, no campo prático, equivale ao custo do agricultor com a operação de crédito rural.

3. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que o modelo consegue reduzir o efeito da taxa de juros, que incide sobre a operação de crédito rural contrata pela proponente e proprietária de “A”, atingindo, assim, o objetivo esperado da modelagem. De forma que o resultado alcançado é condição suficiente para validação do modelo aplicado em “A”, considerando o inventário realizado e condicionantes do imóvel diagnosticado.

Logo, considerando a hipótese prevista, após aplicação do modelo em “A”, espera-se: 1) que os produtores sejam atraídos pelos esquemas de PSA, via SNCR; 2) o aumento na provisão de serviços ambientais; 3) melhoria dos serviços ecossistêmicos; 4) complemento na renda da produtora rural proprietária de “A”; 5) redução nos custos de transação do PSA; 6) impacto positivo no orçamento de potenciais financiadores de PSA; 7) possibilidade de parceria público-privada, consolidadas via convênios entre instituições financeiras e usuários (usuário-pagador e poluidor-pagador) dos serviços ambientais.

A resultante da aplicação da ferramenta em “B”, sugere benefícios financeiros na forma de PSA via SNCR, implicando numa operação de crédito de menor custo para o proprietário de “B”, em razão da provisão de serviços ambientais na unidade produtiva. Essa condição também é suficiente para validação do modelo matemático no ambiente de estudo da unidade produtiva em questão.

Da mesma forma, considerando os termos da hipótese prevista, após aplicação do modelo em “B”, espera-se: 1) que os produtores sejam atraídos pelos esquemas de PSA, via

SNCR; 2) o aumento na provisão de serviços ambientais; 3) melhoria dos serviços ecossistêmicos; 4) complemento na renda da produtora rural proprietária de “A”; 5) redução nos custos de transação do PSA; 6) impacto positivo no orçamento de potenciais financiadores de PSA; 7) possibilidade de parceria público-privada, consolidadas via convênios entre instituições financeiras e usuários (usuário-pagador e poluidor-pagador) dos serviços ambientais.

É sabido que os produtores rurais, em diversos momentos, atuam como provedores de serviços ambientais, gerando benefícios pró-sociedade. Entretanto, para alguns, enquanto os benefícios gerados são coletivos os custos da conservação, por sua vez, acabam sendo internalizados integralmente por uma minoria do meio rural. Nesse contexto, buscou-se aqui modelar uma recompensa financeira atrativa para os provedores serviços ambientais que usam o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR).

Sendo que o estudo de multicasos, que envolveu duas propriedades rurais (A e B), ambas localizadas na Região Serrana Fluminense, apresentou um desempenho satisfatório, indicando que a ferramenta, de fato, tem potencial para ser utilizado em esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) via Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), podendo tal como verificado em “A” e “B”, mitigar o efeito da taxa de juros em operações de crédito rural.

Na correlação entre os resultados alcançados em “A” e “B” e os objetivos específicos desta pesquisa, registrados anteriormente como uma expectativa de desenvolver um modelo matemático alternativo de PSA via SNCR, testar o modelo em duas propriedades rurais e verificar o desempenho e aplicabilidade da ferramenta, é possível concluir que os três objetivos do trabalho foram devidamente alcançados.

Outro aspecto importante é que o caminho científico desta pesquisa poderá ser facilmente reproduzido, inclusive em condições e regiões diferentes, em razão da simplicidade do modelo matemático. Por fim, em que pese o fato do teste ter sido direcionado para operações de custeio, espera-se um desempenho similar da ferramenta em operações de investimento agropecuário, desde que os projetos agropecuários, elegíveis, tenham perfil sustentável e atendam as condições estabelecidas, neste trabalho, para o uso e aplicação do modelo matemático proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, S.; SANS, G. C.; PARUELO, J. M. Market-based instruments for the conservation of biodiversity and ecosystem services in Latin America: Panacea or square wheel?; [Instrumentos económicos basados en mercados para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Latinoamérica. *Ecologia Austral*, v. 27, n. 1- bis, p. 146 – 161, 2017.

ALBUQUERQUE VIEIRA, P.; DE SOUSA VIEIRA, S. C.; COSTA, V. S. DE O. Análise da inclusão da modelagem matemática como instrumento da política nacional do meio ambiente. *Revista Direito em Debate*, v. 32, n. 59, p. e12758, 15 jun. 2023.

ANTONIO, G. J. Y.; ASSIS, R. L. DE; AQUINO, A. M. DE. VULNERABILIDADES E PERSPECTIVAS DA AGRICULTURA FAMILIAR FRENTE À PANDEMIA DE COVID-19. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 4, p. 101–113, 22 abr. 2021.

AUN, N. J.; ASSIS, R. L. DE. Organic agriculture and rural networks in the mountain environments of Região serrana fluminense, Rio de Janeiro, Brazil. *Royal Society Open Science*, v. 8, n. 2, p. rsos.200498, 24 fev. 2021.

BERTONE, A. M. A.; BASSANEZI, R. C.; JAFELICE, R. S. DA M. Modelagem matemática. Uberlândia : UFU, 2014.

BRANDT, C. F.; BURAK, D.; KLÜBER, T. E. Modelagem matemática: perspectivas, experiências, reflexões e teorizações. 2. ed. Ponta Grossa - PR: Editora UEPG, 2016.

CHAVES, R. et al. Uso de animação nas etapas da modelagem matemática: “procurando nemo”. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 12, p. 97033–97053, 2020.

CHECHI, L. A.; BOSCARDIN, M.; OLIVEIRA, A. L. A. DE. Código Florestal e Pagamento por Serviços Ambientais: um estudo de caso com base na redução de carbono emitido e abordagem sistêmica das unidades de produção agrícola. *Desenvolvimento em Questão*, v. 17, n. 48, p. 213–230, 27 ago. 2019.

COSTA, D. DE; PONTAROLO, E.; TEIXEIRA, E. S. Educação ambiental mediante modelagem matemática de resíduos sólidos para a superação da consciência ingênua. Cadernos de Pesquisa, v. 28, n. 2, p. 90, 29 jun. 2021.

DA SILVA, K. B. et al. A importância das políticas públicas no contexto da agricultura familiar em meio a pandemia no Brasil: uma revisão narrativa. Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review), v. 14, n. 8, p. 13336–13347, 15 ago. 2023.

DALY, H. Ecological economics and sustainable development, selected essays of Herman Daly. Massachusetts: Edward Elgar Publishing, 2007. v. 18.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6.ed ed. São Paulo: Atlas, 2008. v. 10.

GUERRA, B. R.; RANIERI, V. E. L. DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E DESENHO DE ESQUEMAS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS. Ambiente & Sociedade, v. 26, p. 338, 2023.

IBGE. Censo agropecuário 2017 - número de estabelecimentos agropecuários - região serrana fluminense. [s.l: s.n.].

JOSÉ BOSETTI, C.; LUNARDI NETO, A.; LANGE, A. ANÁLISE ECONÔMICA DA AGRICULTURA BIODINÂMICA. REVISTA BRASILEIRA DE AGROECOLOGIA, v. 15, n. 3, p. 123–133, 2020.

KAMIYAMA, A. Agricultura sustentável. [s.l: s.n.].

LEITE, M. B. F.; FERREIRA, D. H. L.; SCRICH, C. R. Explorando conteúdos matemáticos a partir de temas ambientais. Ciência & Educação (Bauru), v. 15, n. 1, p. 129–138, 2009.

LI, D. L.; ARAÚJO, B. C. Crédito rural. Em: NEGRI, J. A. DE; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Eds.). Financiamento do desenvolvimento no Brasil. Brasília-DF: Ipea, 2018. p. 316.

LOPEZ, M. DEL C. S. et al. Analysis of Extreme Precipitation Events in the Mountainous Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Climate*, v. 11, n. 3, p. 73, 20 mar. 2023.

MMA. Lições aprendidas na conservação e recuperação da Mata Atlântica: Sistematização de desafios e melhores práticas dos projetos-pilotos de Pagamentos por Serviços Ambientais. Brasília-DF: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2013.

OLIVEIRA, R. et al. Uma abordagem analítica do problema da dispersão de contaminantes em rios e canais. *SBMAC*, 25 ago. 2015. Disponível em: <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/869>.

PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. Experiências de Pagamentos por Serviços Ambiental no Brasil. São Paulo: [s.n.].

PRODANOV, C. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2a Edição ed. Novo Hamburgo: [s.n.].

SILVA, C. DA; KATO, L. A. Quais elementos caracterizam uma atividade de modelagem matemática na perspectiva sociocrítica? *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, v. 26, n. 43, p. 817–838, ago. 2012.

TEJEIRO, G.; STANTON, M. Sistema Estaduais de Pagamento por Serviços Ambientais: diagnóstico, lições aprendidas e desafios para a futura legislação. São Paulo: [s.n.].

TIAGO EMANUEL KLÜBER; DIONÍSIO BURAK. Concepções de modelagem matemática: contribuições teóricas Caldeira. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/index.jsp>>.