

# Inovação no contexto do Monitoramento, Relato e Verificação (MRV): estudo da adoção do Sistema AgroTag PARÁ

DOI: 10.20396/labore.v18i00.8676058

**Mazillene Borges de Souza**

<https://orcid.org/0000-0001-8451-3150>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Belém [PA] Brasil

**Renato Brito de Castro**

<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Belém [PA] Brasil

**Cláudia Vaz Crecci**

<https://orcid.org/0009-0008-6695-8576>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Jaguariúna [SP] Brasil

**Andrea Koga Vicente**

<https://orcid.org/0000-0002-1562-0638>

Universidade Estadual de Campinas / Campinas [SP] Brasil

## RESUMO

No processo de inovação do setor agropecuário a adoção é um dos elementos que necessitam de investigação mais detalhada, pois trata-se de uma das variáveis-chave que viabilizam o uso das tecnologias desenvolvidas pelas instituições de pesquisa. No setor de produção agrícola do Brasil este ambiente de inovação vai ao encontro das necessidades do estado brasileiro para o cumprimento dos compromissos assumidos no Acordo de Paris. As etapas de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) têm como prerrogativa fundamental a transparência das ações implementadas para promoção de práticas de produção sustentáveis. Neste cenário, o presente artigo propõe-se a analisar a adoção do Sistema AgroTag PARÁ, customizado a partir do Sistema AgroTag precursor, como estratégia da política implementada pelo governo do estado do Pará. No processo metodológico da análise da adoção foram levantados alguns indicadores, estabelecidos pelo Método de Monitoramento da Adoção de Ativos da Embrapa. Nossos resultados apontam a efetiva apropriação do Sistema AgroTag PARÁ por meio de indicadores como usuários e propriedades cadastradas, obtidos pela consolidação da rede colaborativa da política estadual, que confirmam a receptividade dos usuários à tecnologia. A consolidação da adoção dessa tecnologia possibilitará aos parceiros o monitoramento dos Territórios Sustentáveis no longo prazo, identificando e qualificando o setor agropecuário da Região.

## PALAVRAS-CHAVE

Territórios sustentáveis. Indicadores de adoção. Agropecuária. Rede colaborativa.

## **Innovation in the context of Monitoring, Reporting and Verification (MRV): investigating the adoption of the AgroTag PARÁ System**

## ABSTRACT

In the innovation process in the agricultural sector, adoption is one of the elements that require more detailed investigation, as one of the key variables that enable the use of technologies developed by research institutions. In Brazil's agricultural production sector, this environment of innovation meets the needs of the Brazilian state to fulfill the commitments assumed in the Paris Agreement. The Monitoring, Reporting and Verification (MRV) stages have as their fundamental prerogative the transparency of the actions implemented to promote sustainable production practices. In this scenario, this study proposes to analyze the adoption of the AgroTag PARÁ System, customized from the original AgroTag System, as a policy strategy implemented by the government of the state of Pará. In the methodological process of analyzing the adoption, some indicators were raised, established by Embrapa's Asset Adoption Monitoring Method. Our results point to the effective appropriation of the AgroTag PARÁ System through indicators such as registered users and properties, obtained through the consolidation of the state policy collaborative network, which confirm users' receptivity to the technology. Consolidating the adoption of this technology will enable partners to monitor Sustainable Territories in the long term, identifying and qualifying the region's agricultural sector.

## KEYWORDS

Sustainable territories. Adoption indicators. Agriculture. Collaborative network.

## 1. Introdução

Atualmente, os estudos sobre inovação podem envolver insights e contribuições de diversas áreas do conhecimento. Fagerberg (2005) aponta quatro eixos temáticos nas pesquisas sobre inovação, sendo condensadas por: i) compreensão dos processos por onde ocorre a inovação e os atores que fazem parte: indivíduos, firmas, organizações e redes; ii) a perspectiva dos sistemas de inovação no cenário de competição vistos nos dias de hoje, e discussão dos papéis de instituições, organizações e atores em nível regional e nacional para o desenvolvimento socioeconômico; iii) a diversidade na forma em que os sistemas operam sobre o tempo e entre diferentes setores ou indústrias; iv) exame das consequências econômicas e sociais da inovação e associações com questões públicas.

No entanto, fundamentalmente, a inovação só se materializa quando efetivamente é introduzida e adotada pelos atores interessados, independentemente do nível de onde está sendo implementada. Desta maneira, o estudo sobre a dinâmica de como está ocorrendo a adoção da inovação é mister para que os gestores da mudança possam refletir sobre os melhores caminhos para uma introdução exitosa.

Nesta esteira, alinhado ao Marco Legal de Ciência Tecnologia e Inovação (CT&I) no Brasil, a Embrapa publicou a sua Política de Inovação e o documento orientador contendo o Macroprocesso de Inovação. Este implementa mecanismos para monitorar todo o macroprocesso, neste fluxo integra o monitoramento da adoção, que objetiva avaliar, além das variáveis de adoção, o desempenho técnico do ativo e a pertinência de mantê-lo no mercado.

Este ambiente de inovação vai ao encontro das necessidades do Brasil para a comprovação dos compromissos assumidos no Acordo de Paris. As etapas do Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) têm como prerrogativa fundamental a transparência das ações implementadas para promoção de práticas de produção sustentáveis. Sendo importante produtor mundial de alimentos, a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor agrícola brasileiro é uma parte fundamental nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (CND).

Diante das ações implementadas para promoção de práticas de produção agrícola sustentáveis no Brasil a Política de Atuação Integrada de Territórios Sustentáveis (PTS) do Governo do Estado do Pará visa o aumento da restauração produtiva por meio do uso eficiente da terra, incentivos aos atores locais à regularização nas dimensões ambiental, social, fundiária etc. Entre as atividades desta política estão o diagnóstico e monitoramento da situação dos imóveis rurais para o acesso às linhas de crédito e seguro rural, por exemplo.

O AgroTag é um sistema desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) com apoio da Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária (Plataforma ABC), como parte da estratégia multiescalar de integração de dados locais com produtos de geotecnologias para o acompanhamento da dinâmica dos sistemas produtivos agropecuários, florestais e tecnologias sustentáveis do Plano ABC (Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura). Objetiva-se apoiar a estruturação da Rede Colaborativa de Uso e Cobertura das Terras e dos Sistemas Produtivos Agropecuários e Florestais do país. O Sistema AgroTag contempla o aplicativo para dispositivos móveis para coleta de dados em campo e o ambiente WebGis para acesso aos dados coletados. O Sistema AgroTag foi concebido em 2016, nas atividades da Plataforma ABC junto ao Plano ABC e ao longo dos anos vem sendo aprimorado por meio de parcerias, tais como, Associação Rede ILPF, Projeto BRS AQUA-BNDES, Fundo Amazônia-BNDES, Projeto Minerva-Corteva, Projeto Rural Sustentável Cerrado e mais recentemente pelo Governo do Pará. Assim, este ativo tecnológico da Embrapa pode contribuir efetivamente para os objetivos desta Política de Estado.

Neste contexto, o presente artigo propõe-se a analisar a adoção do Sistema AgroTag PARÁ, customizado a partir do Sistema AgroTag existente, como estratégia da PTS implementada pelo governo do estado do Pará.

## 2. Ferramentas de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV)

Garantir a segurança alimentar com sustentabilidade para “as pessoas, a produção e o planeta” (Rose, 2021) é um dos principais desafios enfrentados pela humanidade no século XXI, e que consta na agenda mundial das próximas décadas.

Neste sentido, o incentivo aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) estabelecidos no Protocolo de Kyoto, buscam promover o desenvolvimento com utilização de técnicas sustentáveis que, entre outros objetivos, contribuam para a redução de emissões dos GEE, aumentem a produtividade agrícola e favoreçam a redução da pobreza (UNFCCC, 2018). Para garantir a efetividade de tais práticas, os MDL são monitorados por entidades designadas, por meio do Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) (UNFCCC, 2014).

Após o Acordo de Paris, os países signatários têm aumentado os esforços para adequação de metodologias já existentes e desenvolvimento de novos métodos robustos para o MRV, a fim de assegurar a transparência comunicação das ações implementadas no contexto das Contribuições Nacionalmente Determinadas (CND) (Nelson et al., 2021; Michaelowa et al., 2022).

O setor agropecuário brasileiro é responsável por aproximadamente 45% das emissões nacionais (Potenza et al., 2023). Com foco na redução das emissões no setor, o governo federal lançou o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC).

O Plano ABC “é uma política pública que apresenta o detalhamento das ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima para o setor agropecuário” (Brasil, 2012), sendo parte importante do compromisso assumido pelo Brasil na COP-15 para redução das emissões dos GEE. O plano prevê a implementação de uma série de ações referentes a seis processos tecnológicos para adoção de práticas agrícolas sustentáveis: (i) Recuperação de Pastagens Degradadas; (ii) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); (iii) Sistema Plantio Direto (SPD); (iv) Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); (v) Florestas Plantadas; (vi) Tratamento de Dejetos Animais (Brasil, 2012).

Contudo, Perosa et al. (2023) pontua que um dos desafios para a adoção das tecnologias agrícolas é que estas devem ser desenvolvidas considerando o balanço entre a viabilidade técnica e econômica, especialmente importante nos países emergentes.

As tecnologias de Sensoriamento Remoto se destacam como ferramentas adequadas às diversas etapas nos sistemas de MRV, por gerarem informações objetivas, práticas e de baixo custo (Carter et al., 2021), características que se enquadram no conceito de conservadorismo (*conservativeness*) balanceando custo e acurácia (Michaelowa et al., 2022). O monitoramento por Sensoriamento Remoto já é consolidado na pesquisa agropecuária e sustentabilidade, principalmente pela utilização de imagens de satélite, drones e fotografias aéreas (Rejeb et al., 2022; Padilha et al., 2020; Weiss et al., 2020; Vicente et al., 2012).

Nos últimos anos, têm-se observado a aplicação crescente das inovações tecnológicas no campo (Abbasi et al., 2022) e, não obstante os problemas de acesso assimétrico da população às tecnologias, o uso de Aplicativos Móveis (APPs) no meio rural têm crescido, por prover acesso mais rápido às informações, facilidades como a comunicação por voz, utilização de serviços de forma quase instantânea e familiaridade por se tratar de um equipamento pessoal (Qiang et al., 2012).

Para o Brasil, signatário do Acordo de Paris e país com grande extensão territorial, onde entre os principais desafios para o MRV encontram-se a consolidação de metodologias nacionais e a integração das informações oriundas de diversas regiões do país, a utilização de redes colaborativas por meio de APPs instalados em celulares, tablets ou acessadas em websites tem o potencial de agilizar essas questões.

Atualmente, as redes colaborativas são amplamente utilizadas na área da Educação para o ensino a distância, Projetos, Redes Sociais e Área da Ciência, a exemplo da ResearchGate, a mais utilizada por pesquisadores, os quais interagem mundialmente com outros profissionais pelas diversas ferramentas que a rede oferece.

Um dos pilares para o avanço e consolidação das tecnologias desenvolvidas para MRV, consiste na adoção de tais tecnologias por parte dos diferentes atores, o que demanda uma ação combinada de agentes públicos e privados (Perosa et al., 2023). Neste contexto, diversas políticas públicas têm sido lançadas pelos governos nacional e estaduais.

### **3. Política de Atuação Integrada de Territórios Sustentáveis (PTS) do Pará e o Sistema AgroTag PARÁ**

O Governo do Estado do Pará, por meio de sua Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas), tem apoiado estratégias para os produtores(as), proprietários(as) ou possuidores(as), interessados

em aderir à “Política de Atuação Integrada de Territórios Sustentáveis (PTS)” para: “regularização fundiária, acesso às linhas de crédito e seguro rural, garantia de acesso a mercados, assistência técnica rural entre outros serviços voltados ao desenvolvimento social e ambiental” (Pará, 2023).

A adesão permitirá início das ações de fomento ao aumento da produtividade por meio de assistência técnica, extensão rural, gestão da propriedade e inovação tecnológica para o campo; Gerar trabalho e renda a partir da valorização dos produtos e subprodutos da sociobiodiversidade amazônica; Promover o ordenamento territorial e a regularização ambiental, como incentivo ao desenvolvimento sustentável e a cultura de paz no campo; e Realizar ações para a proteção e manutenção dos ecossistemas, paisagens naturais e ciclos hidrológicos. Reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no setor “Uso da terra e Florestas”. (Pará, 2023).

No decreto 2744, de 09/11/2022 (Decreto nº 2.744, 2022), Capítulo I, “Disposições Preliminares”, dispõe sobre o Programa de Atuação Integrada para Territórios Sustentáveis (PTS):

*Art. 1º Parágrafo único. O Programa tem por finalidade promover a estratégia de transição à economia de baixas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) de regiões pressionadas pelo desmatamento e/ou com áreas passíveis de restauração florestal no Estado do Pará, para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.*

*Art. 5º São objetivos do Programa de Atuação Integrada para Territórios Sustentáveis (PTS):*

*I - promover ações para o alcance da meta da Contribuição Nacional Determinada (Nationally Determined Contribution - NDC) do Brasil e na consecução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas no Estado;*

*IX - ampliar ações de rastreabilidade e certificação da produção para fins de regularidade ambiental das atividades agropecuárias.*

O Sistema AgroTag PARÁ é um ativo tecnológico da Embrapa, lançado em 2021, com objetivo de contribuir para o diagnóstico e monitoramento dos municípios dos Territórios Sustentáveis do Pará, por meio da incorporação de um novo protocolo para levantamentos de campo referente às informações sobre recomposição florestal/restauração e de formulários específicos, demandados por agentes multiplicadores desta PTS, implementados no Sistema AgroTag já existente. Este sistema visa dinamizar a coleta, o registro, a verificação de informações e o monitoramento das áreas de atuação desta PTS.

No decreto 2744, de 09/11/2022 (Decreto nº 2.744, 2022), Capítulo I, “Disposições Preliminares”, Art. 3. define-se:

*III - Sistema Integrado AgroTag Pará: sistema multi-institucional de monitoramento de imóveis rurais, a partir da sistematização de dados de campo de uso e cobertura das terras e dos sistemas produtivos agropecuários e florestais, que permite estruturar uma rede de monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária no Estado do Pará.*

No mesmo decreto, Capítulo V, “Do Acompanhamento, Monitoramento e Transparência”, o Sistema AgroTag é uma ferramenta definida para uso no PTS:

*Art. 27. O Sistema Integrado AgroTag Pará tem como objetivo coletar e acompanhar as informações ambientais, fundiárias e produtivas dos imóveis rurais participantes do Programa de Atuação Integrada para Territórios Sustentáveis (PTS).*

No aplicativo AgroTag PARÁ, a coleta de dados e fotos em campo é realizada nestes formulários georreferenciados (Figura 1) e esta base de dados coletados bem como as demais bases de dados geoespaciais são acessadas pelo Governo do Estado do Pará no WebGis AgroTag PARÁ (Figura 2), possibilitando o monitoramento e diagnóstico contínuo da situação dos imóveis rurais e sistemas produtivos agropecuários e florestais por meio de geração de dados estratégicos (Figura 3).

O aplicativo AgroTag PARÁ tem três formulários temáticos: “Inscrição da Propriedade”, “Diagnóstico Situacional” e “Plano DS”, bem como o “Uso da Terra”, comum a todos os aplicativos do Sistema AgroTag.

O formulário de “Inscrição da Propriedade” (Figura 4) contém todas as características da propriedade do Território Sustentável.

O “Diagnóstico Situacional” é composto pelo “Termo de Adesão” do proprietário à política de Estado do Pará “Territórios Sustentáveis”, além dos dados de Acesso à Políticas Públicas: Crédito Rural, PNAE etc; Identificação/Caracterização da Unidade de Produção e Informações sobre a Produção, Comercialização, Econômicas e Patrimoniais do Aderente, entre outros dados.

No formulário "Plano DS" são mapeados os Dados da Entidade e do Beneficiário, Descrição do Plano, Programação das atividades da Ater referentes ao Desenvolvimento do Plano Produtivo, Financiamento do Plano, Expectativa da Família em Relação ao Plano, Assinaturas do Técnico e Beneficiário e o Croqui da área a ser recuperada.

Todos os tópicos de cada formulário possuem seus próprios campos que são exibidos e/ou ocultados pelo usuário a qualquer momento. Existem vários dados de entrada em cada formulário do AgroTag PARÁ, importantes informações para o diagnóstico e monitoramento dos municípios dos "Territórios Sustentáveis", entretanto, a navegabilidade entre os tópicos dos formulários do aplicativo é fluida, facilitando o preenchimento dos dados pelo usuário do aplicativo.

O Sistema AgroTag PARÁ (Aplicativo e WebGis) está disponível no Portal AgroTag, no endereço <https://www.agrotag.cnptia.embrapa.br/>, entretanto, este sistema somente pode ser acessado sob liberação do governo do Estado do PARÁ e por perfis específicos.

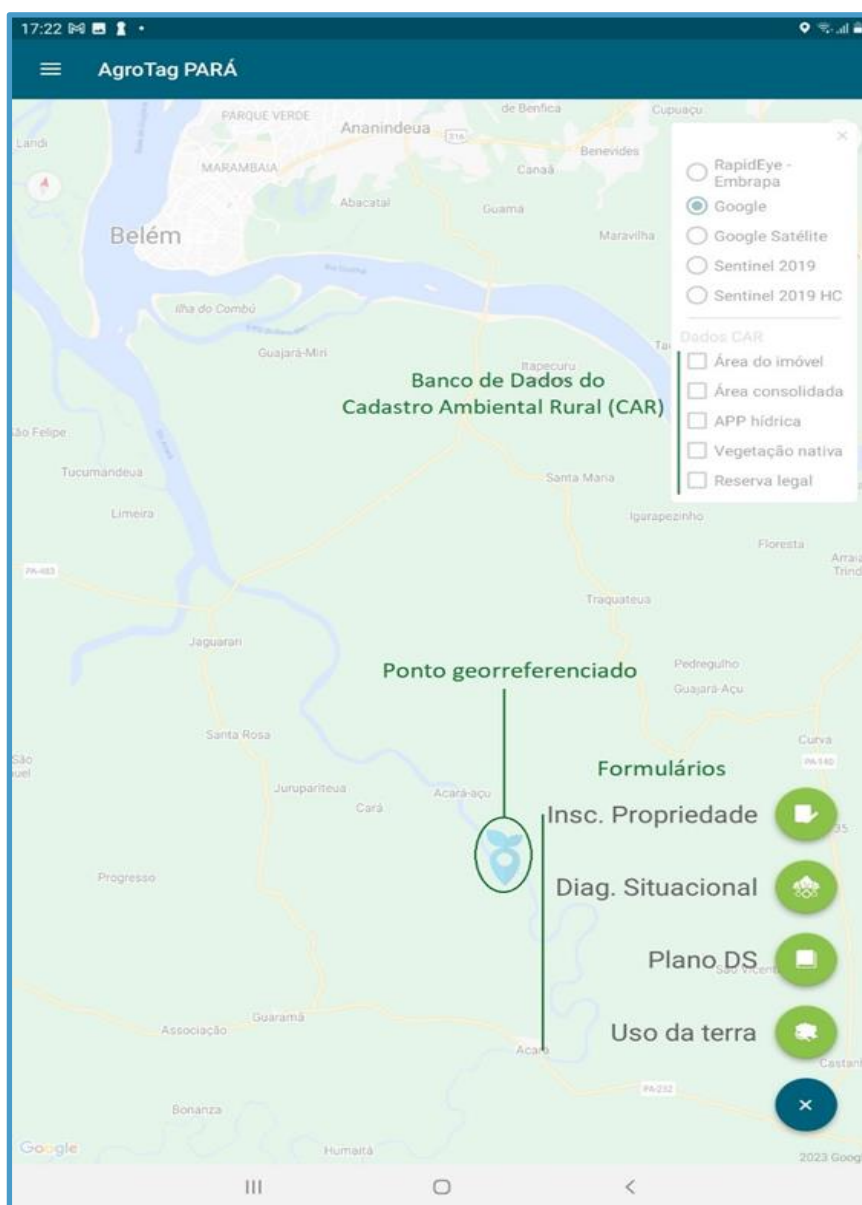
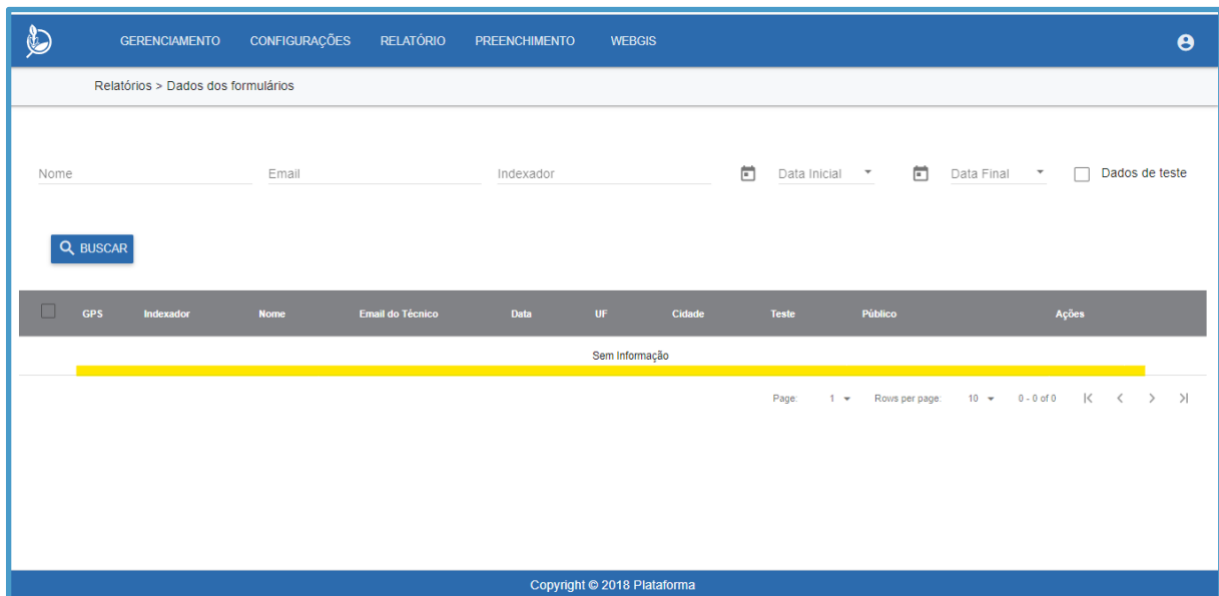


Figura 1. Tela inicial aplicativo AgroTag PARÁ. Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado do Sistema AgroTag PARÁ.

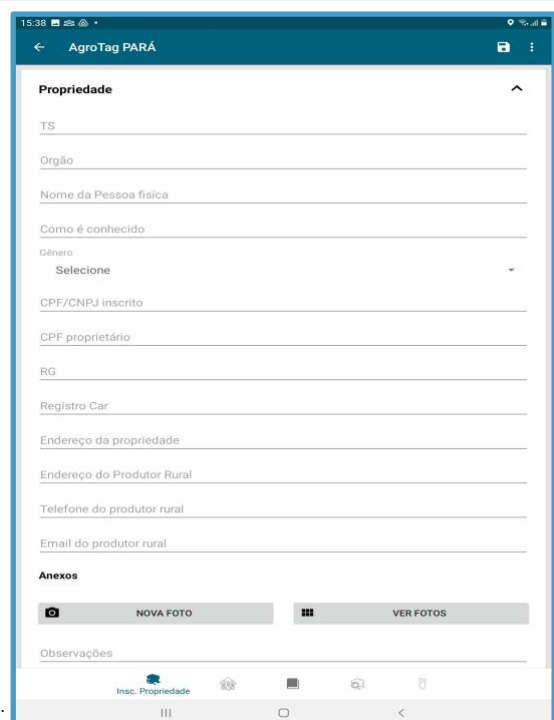


**Figura 2.** Página Inicial WebGis AgroTag PARÁ. Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado do Sistema AgroTag PARÁ.



**Figura 3.** WebGis AgroTag PARÁ  
Dados dos Formulários - Exportação planilhas Excel.  
Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado do Sistema AgroTag PARÁ.

**Figura 4.** Formulário Inscrição da Propriedade.  
Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado do Sistema AgroTag PARÁ.



## 4. Inovação e Adoção de ativos no contexto Embrapa

O conceito de inovação está associado à inserção de novos produtos, serviços ou processos no ambiente produtivo, de acordo como especificado na Lei nº 13.243/2016, art. 2º, inciso IV:

*“introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características a produto, serviço ou processo já existente que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho” (Lei 13.243, 2016).*

Neste sentido, a partir de 2018, alinhado ao Marco Legal de Ciência Tecnologia e Inovação (CT&I) no Brasil, a Embrapa publicou a sua Política de Inovação e o documento orientador contendo o Macroprocesso de Inovação.

De forma sintética, o novo modelo de Inovação dentro dos processos de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa (Figura 5), perpassa pelos seguintes macroprocessos: Etapa 1 – Inteligência Estratégica e Planejamento; Etapa 2 – Pesquisa; Etapa 3 – Desenvolvimento e Validação; Etapa 4 – Transferência de Tecnologia; Etapa 5 – Monitoramento da Adoção; Etapa 6 – Avaliação de Impactos.

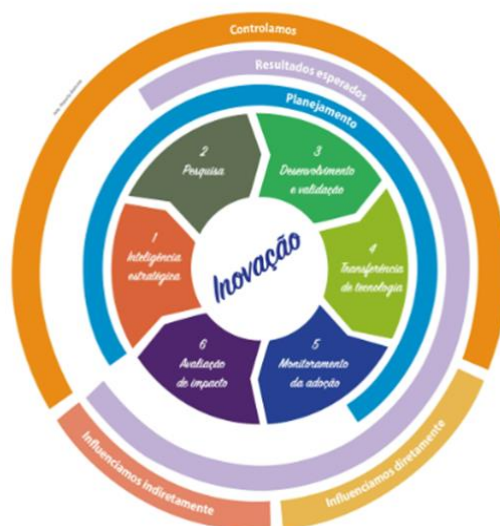


Figura 5. Macroprocesso de Inovação da Embrapa. Fonte: Embrapa (2018).

Assim, a Embrapa organiza os temas relacionados à agricultura brasileira em portfólios de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Esses portfólios estão relacionados, principalmente, ao desenvolvimento de ativos tecnológicos cujo grau de maturidade é medido pela escala Technology Readiness Level (TRL).

A Escala TRL/MRL (do inglês, Technology Readiness Levels e Manufacturing Readiness Levels) é utilizada para avaliar tecnicamente uma tecnologia e enquadrá-la em Níveis de Maturidade Tecnológica. TRLs (Technology Readiness Levels) referem-se aos níveis de maturidade de um produto, ao passo que MRLs (Manufacturing Readiness Levels) são usualmente empregados para designar os níveis de maturidade de um processo (Department of Defense Instruction 5000.02 – Operation of the Defense Acquisition System, 2008 (Embrapa, 2020). A Figura 6 expõem a escala TRL/MRL:



Figura 6. Programa de PD&I e os níveis de maturidade tecnológica. Fonte: Adaptado de Capdeville et al. (2017), citado por Embrapa (2020).

Especificamente sobre a etapa de Monitoramento da Adoção, ela objetiva avaliar, além das variáveis de adoção, o desempenho técnico do ativo e a pertinência de mantê-lo no mercado, e sua análise retroalimenta os demais fluxos do macroprocesso e, principalmente, os de Inteligência Estratégica e Planejamento, de Transferência de Tecnologia e de Avaliação de Impacto.

Entendendo a criticidade do macroprocesso, seria de fundamental importância que os dados disponibilizados pelos agentes componentes dos elos que compõem a rede colaborativa envolvidas na PTS sejam confiáveis e fidedignos. Assim, preconiza-se que a rede seja composta por atores que estejam comprometidos com o desenvolvimento da política de estado e conseqüentemente da região onde atuam.

Nestes termos, acredita-se que a relação de cooperação seja primordial para o sucesso do processo, pois é uma relação onde se constrói maiores níveis de confiança. Há a retroalimentação do sistema com informações relevantes ao aprimoramento da tecnologia, assim como, disponibilização de dados enriquecidos com acurácia relevante ao processo contínuo de inovação.

Ademais, o Macroprocesso de Inovação implementa mecanismos para monitorar todo o macroprocesso, nesse fluxo integra o monitoramento da adoção, cujos os conceitos de "ativos de inovação" e "inovação" estão relacionados e subsidiam o entendimento da adoção como a apropriação pelo setor produtivo de "produtos, processos, tecnologias, conhecimentos, componentes pré-tecnológicos e tecnológicos obtidos, gerados ou desenvolvidos pela Embrapa, isoladamente ou em conjunto com terceiros" (Embrapa, 2022).

Diante do exposto, enfatizando a importância do monitoramento de adoção de tecnologias, em um estudo sobre Agricultura Comportamental, Rocha et al.(2021) apresenta uma linha de estudo que visa facilitar e aumentar a visibilidade do esforço humano, e como exemplo de variáveis humanas ele ressalta que:

*“a adoção ou o uso de tecnologias agropecuárias é um dos principais comportamentos que necessitam de investigação mais pontual, pois se trata de uma das variáveis-chaves que viabilizam o setor de produção agrícola do Brasil e fazem com que esse setor seja uma das referências mundiais nesse ramo da economia”* (Rocha et al., 2021).

Para a concretização da inovação o processo fundamental é a adoção de tecnologia, portanto:

*“o processo de monitoramento da adoção surge como um aliado da pesquisa, ao possibilitar o levantamento de informações sobre todo o processo de adoção do ativo junto aos diferentes níveis de adotantes (intermediários e finais) e informações referentes ao mercado. Estas informações possibilitam contextualizar pesquisas e orientar os Comitês Gestores dos Portfólios (CGPorts) da Embrapa, contribuindo para a ideação de pesquisas que se materializam em ativos promotores de inovação”* (Embrapa, 2022).

Em um trabalho sobre adoção tecnológica, Cribb et. al., 2011, ressaltam que a adoção tecnológica efetiva envolve seleção, aquisição, implementação e absorção da tecnologia.

A adoção final, definem Feder et al. (1985), citado por Cribb et. al., 2011, como o grau de uso de uma nova tecnologia em equilíbrio de longo prazo quando o agente multiplicador tem plena informação a respeito da nova tecnologia e de seu potencial.

A maior parte dos trabalhos sobre adoção tecnológica avaliam a adoção por parte dos produtores rurais, aqui vamos avaliar a adoção por meio da rede colaborativa na PTS.

Quanto a adoção efetiva definida por Cribb et. al., 2011, no caso do Sistema AgroTag PARÁ, a seleção foi formalizada por meio da parceria com instituições estaduais, posteriormente a aquisição, por meio de download pelos agentes multiplicadores selecionados por essas instituições e a implementação quando os dados são inseridos pelos mesmos agentes multiplicadores. No entanto, a adoção final, como é definida por Feder et al. (1985), citado por Cribb et. al., 2011, será a longo prazo quando os agentes da rede colaborativa, composta por várias instituições, alcançarem plena informação a respeito da nova tecnologia e de seu potencial.

É importante ressaltar o que declara Windsor, 1995, citado por Cribb et. al., 2011, que no processo de adoção tecnológica, o adotante potencial não é uma unidade passiva, mas sim um tomador ativo de decisões. Diante do exposto, no caso do AgroTag PARÁ, a adoção final será por meio de decisões e estratégias das instituições estaduais parceiras.

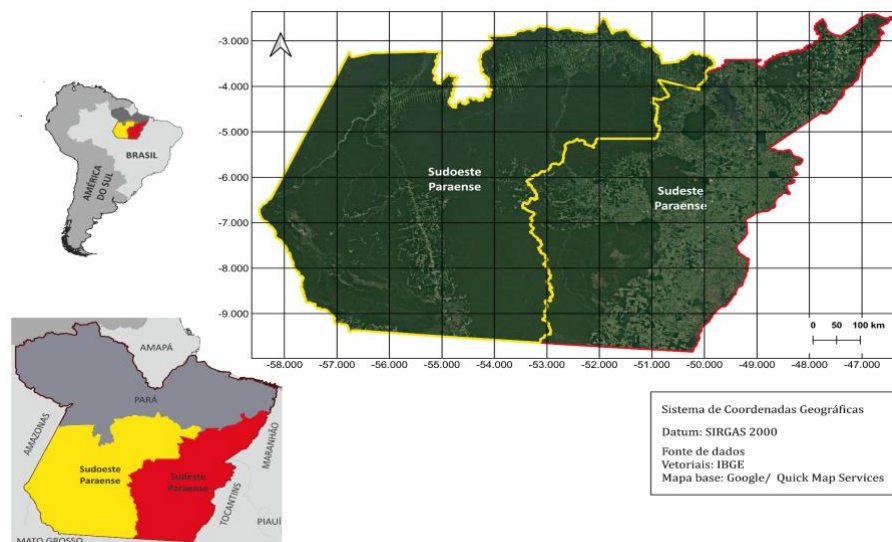


Entretanto, neste estudo, será abordado a adoção do Sistema AgroTag PARÁ, e no processo metodológico da adoção foram levantados alguns indicadores, estabelecidos pelo Método de Monitoramento da Adoção de Ativos (Embrapa, 2022).

## 5. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na porção Sul do Pará, região Norte do Brasil (Figura 7), regionalizada pelo IBGE (2022) em Mesorregiões Sudoeste Paraense e Sudoeste Paraense, por apresentarem características socioculturais distintas. De acordo com a FAPESPA (2022) o estado apresentou em 2020 o maior produto interno bruto (PIB) da região Norte (45,2%), composto por serviços (47,5%); indústria (42,5%), onde se destaca a atividade de mineração; e agropecuária (10%).

Entretanto, a produção tem ocorrido de forma não sustentável, pois embora tenha grande parte do seu território coberto pela floresta amazônica, fundamental no equilíbrio do planeta (Salati et al., 1979; Lovejoy & Nobre, 2019), o estado do Pará apresenta níveis elevados de desmatamento, tendo emitido 381 Mt CO<sub>2</sub>e em 2021, resultantes de mudanças no uso e cobertura das terras (Potenza et al., 2022). Essas ações não afetam apenas a funcionalidade biológica dos sistemas físicos, mais importante, afetam fortemente grupos que dependem da floresta para sua subsistência, como os povos indígenas, os silvicultores, as comunidades tradicionais e as comunidades quilombolas.



**Figura 7.** Área de estudo. No destaque, as mesorregiões Sudeste Paraense e Sudoeste Paraense. Fonte: Elaboração dos autores.

Este contexto demonstra a necessidade premente de que ações sejam implementadas para que haja sustentabilidade econômica para a população, mas de forma que esse importante ecossistema não atinja o que Lovejoy e Nobre (219) chamam de “ponto do não retorno”.

Neste sentido, o governo do estado tem lançado programas que buscam implementar ações que incentivem a produção com sustentabilidade, podendo ser citados o Plano Estadual Amazônia Agora, o Programa Municípios Verdes e a PTS.

Considerando a grande extensão territorial do estado e a dificuldade de acesso a muitas regiões, as inovações tecnológicas podem ajudar a implementação das ações bem como fornecer meios para que as entidades elaborem o MRV. Ressalta-se a importância do acompanhamento da adoção dessas tecnologias como um primeiro passo para a concretização dos objetivos das políticas públicas.

## 6. Dados do Sistema AgroTag PARÁ

Os dados utilizados na análise da adoção do Sistema AgroTag PARÁ foram extraídos do WebGis AgroTag PARÁ, por meio de planilhas em formato .xls, abrangendo o período entre 21/01/2022, data de início dos registros, até 11/08/2023. Para este estudo, utilizou-se a planilha “Inscrição da propriedade”, com os dados coletados e registrados pelo aplicativo AgroTag PARÁ no “Formulário Inscrição da Propriedade”, contendo 57 variáveis das quais foram selecionadas: (i) Latitude e longitude: coordenadas dos pontos coletados; (ii)

Nome do técnico: e-mail criado pelo Projeto para os técnicos responsáveis pela coleta das informações; (iii) Data: data e hora do registro; Nome da pessoa física: registro do proprietário. A seguir, foi realizada uma etapa de preparação e verificação de registros utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Qgis.

Os dados consolidados foram processados utilizando-se técnicas estatísticas, no software Tableua 2021.3 e técnicas de análise espacial no SIG Qgis.

Todos os dados coletados pelo Sistema AgroTag PARÁ são rastreáveis e passíveis de verificação por perfis de acesso ao sistema. A publicação dos dados agregados garante a privacidade dos dados dos usuários do sistema que segue em conformidade com as orientações da Embrapa em relação à Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

## 7. Indicadores de adoção Método de Monitoramento da Adoção de Ativos

Atualmente, a rede colaborativa do AgroTag PARÁ, é composta por 61 técnicos de diversas instituições que estão nos Territórios Sustentáveis no Estado do Pará.

Um indicador, de periodicidade mensal e com aferição dos dados cadastrados na base armazenada no próprio Sistema AgroTag PARÁ, retrata a quantidade de propriedades registradas no decorrer da implantação do PTS, assim como, a dinâmica de evolução nos territórios a partir do início do uso do sistema (Figura 8). Até agosto de 2023 já haviam sido registradas um total de 852 propriedades. Abaixo é notificado o quantitativo de pontos inseridos no sistema mensalmente a partir do início do uso do ativo. Interessante notar que o gráfico tem tendência de crescimento.

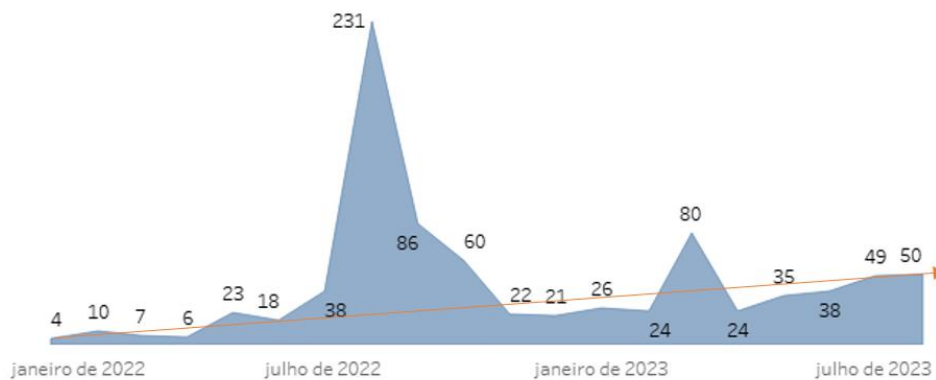


Figura 8. Quantitativo de pontos inseridos no Sistema AgroTag PARÁ. Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram registrados dados coletados em 29 municípios (Figura 9), sendo que 28 estão localizados no Sudeste Paraense e apenas o município Brasil Novo foi registrado no Sudoeste Paraense.

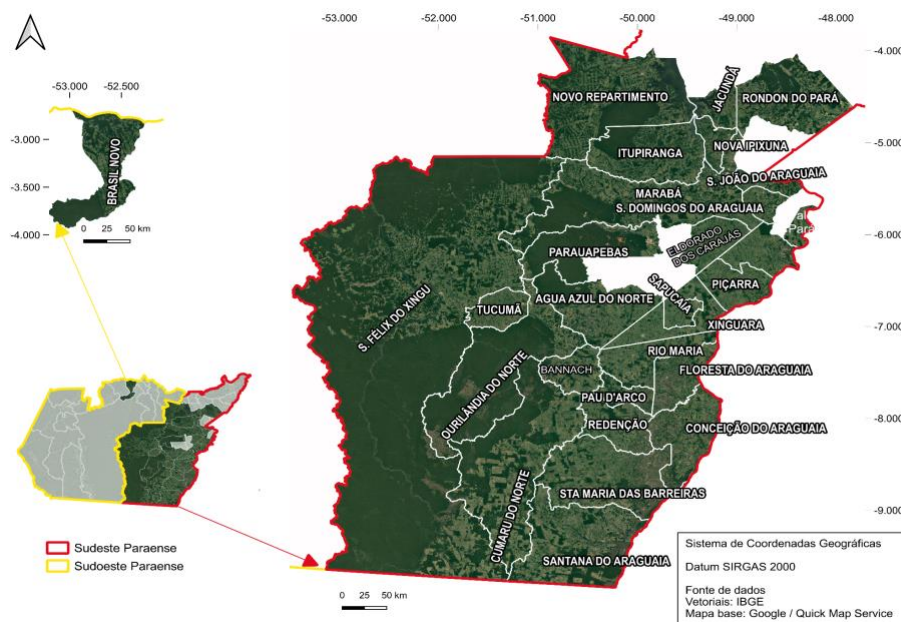
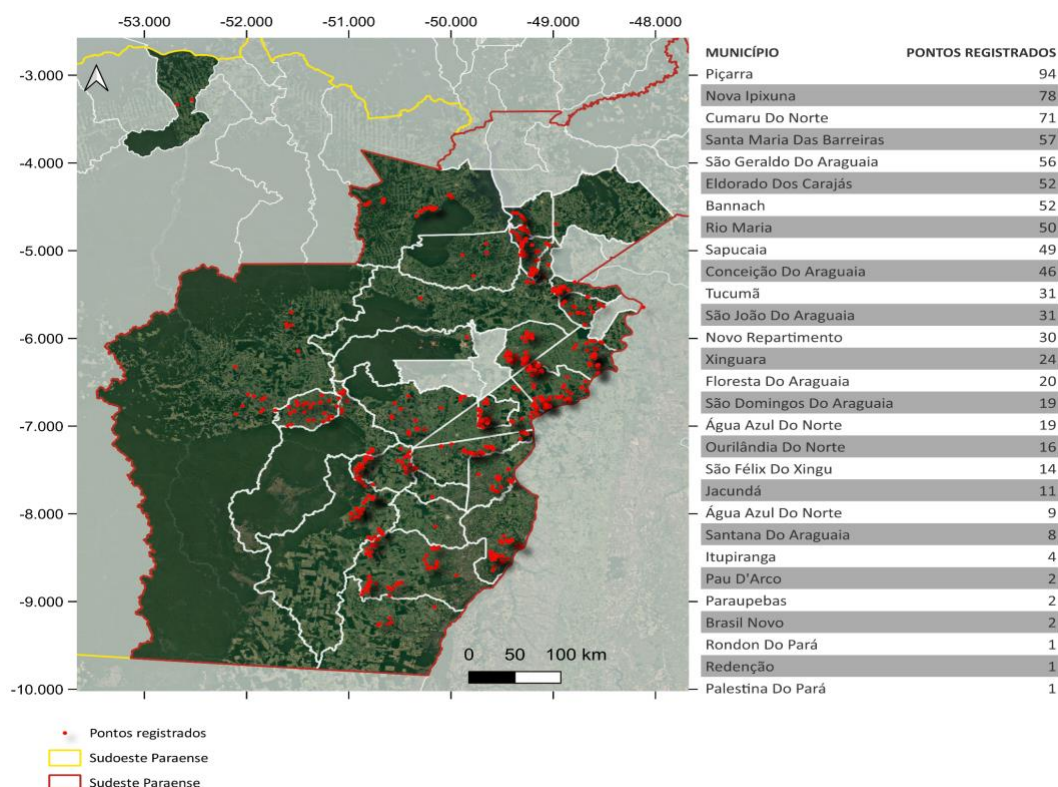


Figura 9: Mapa dos municípios com registro coletado no AgroTag PARÁ. Fonte: Elaboração dos autores.

O Sudeste Paraense concentra intensa atividade econômica, podendo-se citar a mineração em Eldorado do Carajás e a extensa atividade agropecuária, onde se destaca o maior rebanho bovino nacional, em São Félix do Xingu. Contudo, as atividades têm impactos nas mudanças de uso e cobertura da terra, podendo-se observar na Figura 7 que o Sudeste Paraense apresenta maior extensão de áreas desmatadas, em comparação com o Sudoeste Paraense. Este resultado demonstra que as ações de política pública foram iniciadas nas áreas prioritárias na questão da sustentabilidade.

A distribuição das propriedades por município está exposta a seguir Figura 10, sendo os municípios de Piçarra, Nova Ipixuna, Cumaru do Norte, Santa Maria das Barreiras, São Geraldo do Araguaia, Bannach, Eldorado dos Carajás e Rio Maria concentrando aproximadamente 60% do total dos dados coletados referentes às propriedades.



**Figura 10.** Pontos registrados por município. Fontes: Elaboração dos autores com dados do Sistema AgroTag PARÁ e malhas cartográficas do IBGE.

Em relação à dinâmica das ações ao longo do período, a Figura 11 mostra a evolução nos territórios, onde, em azul estão as áreas coletadas em 2022, e em laranja, até agosto de 2023, respectivamente.

A Tabela 1 mostra a evolução de usuários treinados no uso do Sistema AgroTag PARÁ. Ao todo 95 pessoas finalizaram as capacitações, seja de modo online ou presencial. Em 2021, em paralelo ao lançamento do aplicativo AgroTag PARÁ ocorreram as capacitações, as quais possibilitaram a adoção do mesmo.

**Tabela 1.** Capacitação dos usuários treinados Sistema AgroTag PARÁ.

Treinamentos	Ano 2021	Ano 2022	Ano 2023
Capacitação on-line ao vivo e prático	33	—	—
Capacitação à distância pelo AVA	39	19	4

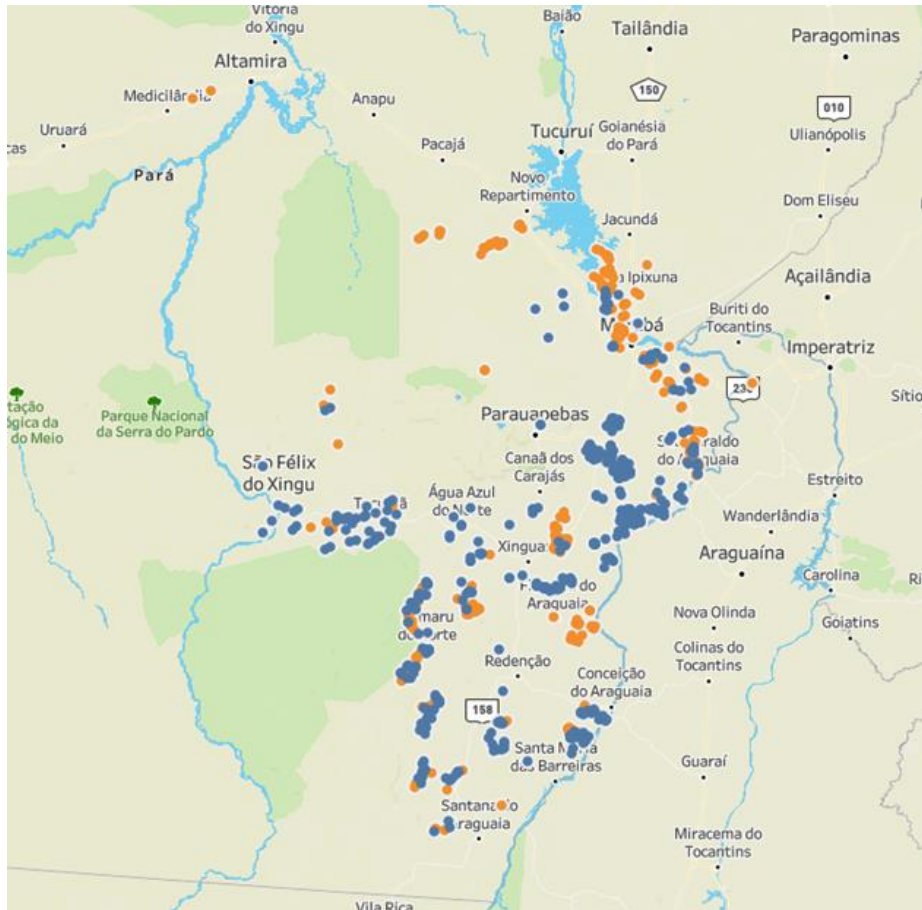


Figura 11. Evolução de coletas nos territórios em 2022/2023. Fonte: Elaborada pelos autores.

Neste sentido, a parte teórica se concentrou em dois módulos, com interlúdio da parte prática que ocorreu em outubro de 2021. No mesmo ano, foi disponibilizado o curso a distância no Ambiente Virtual de Aprendizado da Embrapa (AVA EMBRAPA), possibilitando assim o processo de transferência de tecnologias para outros atores do território.

Em relação ao número de instituições e parcerias estabelecidas, dez estão presentes desde o início das ações de transferência de tecnologias da Embrapa na PTS, sendo este indicador monitorado anualmente para verificar se há, ao longo do tempo, um acréscimo ou diminuição na participação desses atores na Rede.

## 8. Considerações finais

São inúmeros os desafios para a efetiva apropriação, pelo mercado produtivo, de inovações desenvolvidas pela pesquisa agropecuária, o desafio que persiste há décadas, é a inadequação de algumas soluções às reais necessidades de seus potenciais beneficiários.

Considerando o Sistema AgroTag PARÁ, como exemplo e estudo de caso, dando visibilidade a aplicabilidade da ferramenta e seus desdobramentos, sobretudo a colaboração do mesmo no “Monitoramento Relatório e Verificação (MRV)”, podendo ser visualizada sua efetiva apropriação, pela receptividade de seus usuários, por meio do indicador de propriedades registradas, obtido pela consolidação da rede colaborativa da PTS. Outro indicador de efetiva apropriação da inovação é a expansão nos territórios no Estado do Pará ao longo do período de 2022 a 2023.

É importante ressaltar a contribuição também do referido sistema para a pesquisa da adoção e do impacto de outras tecnologias, que serão a base para a elaboração, implementação e avaliação de programas de intervenção que afetam o processo de inovação nas propriedades. Esta importante contribuição pode ser alcançada pela evolução de usuários treinados, que é observado no indicador capacitação no período de 2021 a 2023 no processo de transferência de tecnologias para outros atores dos territórios da PTS.

No mesmo contexto de colaboração no MRV, é imprescindível que os dados disponibilizados pelos agentes que compõem a rede colaborativa da PTS sejam confiáveis e fidedignos. Como dito anteriormente, preconiza-se que a rede seja composta por atores que estejam comprometidos com o desenvolvimento da PTS e consequentemente da região onde atua, sendo dessa forma possível continuar acompanhando também o monitoramento da adoção do ativo em outros territórios.

Embora nesta etapa analisada o Sistema Agrotag PARÁ tenha sido utilizado apenas pelos técnicos treinados da PTS, há a potencialidade de que o uso seja estendido também para os produtores. Esta ação de rede colaborativa beneficiaria as duas pontas do sistema: o produtor teria rápido acesso, *in loco*, às informações institucionais disponíveis no AgroTag PARÁ (CAR, mapas de mineralogia, estimativa de carbono orgânico no solo, protocolos e parâmetros desenvolvidos pela Embrapa, entre outras) que podem auxiliar no gerenciamento da propriedade. Pesquisadores e gestores seriam beneficiados pelas informações georreferenciadas coletadas pelos produtores, importantes na validação das classificações de imagens de satélite, pois estudos demonstram que a participação de produtores locais, de silvicultores e de povos indígenas têm resultado em otimização dos inventários de campo, na precisão do levantamento das informações, redução de custos, legitimidade, escalabilidade e acoplamento aos sistemas nacionais (Carter et al., 2021; Murthy et al., 2017; Danielsen et al., 2011; Palmer Fry, 2011; Seelan, 2003).

No processo metodológico da adoção do sistema, os indicadores apresentados neste estudo de caso, podem ser o marco inicial. A adoção final, será a longo prazo quando os agentes da rede colaborativa, composta por várias instituições, alcançarem plena informação a respeito da nova tecnologia e de seu potencial, concretizando assim a colaboração do AgroTag PARÁ no MRV da agricultura de baixa emissão de carbono. Além disso, na rede colaborativa do Sistema Agrotag PARÁ, há uma integração de dados multiescalar com produtos de geotecnologias para o acompanhamento da dinâmica dos sistemas produtivos agropecuários e florestais.

Contudo, a consolidação da adoção dessa tecnologia possibilitará aos parceiros o monitoramento dos Territórios Sustentáveis no longo prazo, identificando e qualificando o setor agropecuário da Região.

## 9. Referências

Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2: 100042. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2012). *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)*, Brasília: MAPA/ACS. Recuperado de <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono/publicacoes/download.pdf>.

Carter, S., Herold, M., Jonckheere, I. G. C., Espejo, A. B., Green, C., & Wilson, S. (2021). Capacity development for use of remote sensing for redd+ mrv using online and offline activities: Impacts and lessons learned. *Remote Sensing*, 13(11): 2172. doi: <https://doi.org/10.3390/rs13112172>.

Cribb, A. Y., Cribb, S. L. de S. P., Freire Junior, M., & Silva, F. T. (2011). Adoção tecnológica e gestão cooperativista: um estudo de caso na agricultura familiar. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 28(1), 133–157. doi: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2011.v28.12038>.

Danielsen, F., Skutsch, M., Burgess, N. D., Jensen, P. M., Andrianandrasana, H., Karky, B., Lewis, R., Lovett, J. C., Massao, J., Ngaga, Y., Phartiyal, P., Poulsen, M. K., Singh, S. P., Solis, S., Sørensen, M., Tewari, A., Young, R. & Zahabu, E. (2011). At the heart of REDD+: A role for local people in monitoring forests? *Conservation Letters*, 4(2), 158–167. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00159.x>.

Decreto no 2.744, de 9 de novembro de 2022. (2022, novembro 10). Dispõe sobre o Programa de Atuação Integrada para Territórios Sustentáveis (PTS), altera o Decreto nº 941, de 03 de agosto de 2020, e revoga o Decreto Estadual nº 344, de 10 de outubro de 2019. Belém: DOE.

Embrapa (2018). *Documento Orientador: Macroprocesso de inovação*. Recuperado de <https://www.embrapa.br/group/intranet/busca-de-documentos/-/documentos/40793248/2/documento-orientador-macroprocesso-de-inovacao-da-embrapa>

Embrapa (2020). *Manual sobre o Uso da Escala TRL/MRL - Nota Técnica sobre o processo de avaliação de níveis de maturidade tecnológica (Escala TRLMRL)*. Recuperado de <https://www.embrapa.br/group/intranet/busca-de-documentos/->

</documentos/58151572/2/nota-tecnica-sobre-o-processo-de-avaliacao-de-niveis-de-maturidade-tecnologica-escala-trlml->

Embrapa (2022). *Método de Monitoramento da Adoção de Ativos da Embrapa - Documento Orientador*. Recuperado de <https://www.embrapa.br/group/intranet/busca-de-documentos/-/documentos/70911406/2/metodo-de-monitoramento-da-adocao-de-ativos-da-embrapa-documento-orientador>

Fagerberg, J. (2005). Innovation: A Guide to the Literature. In J. Fagerberg, D. C. Mowery, R. R. Nelson (Eds), *The Oxford Handbook of Innovation* (pp. 1-26). New York: Oxford University Press Inc. doi: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0001>.

Fapespa (2022). *Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Relatório PIB do Pará 2020*. Recuperado de <https://tinyurl.com/45s9ycba>

Google. Map data ©2015 Google.

IBGE (2022). *Malha Municipal - Pará*. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>

*Lei 13.243/2016 de 11 de janeiro de 2016* (2016, janeiro 12). Dispõe sobre estímulo ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. Diário Oficial da União. Brasília: Presidência da República. Recuperado de [https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=12/01/2016\[m3\]](https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=12/01/2016[m3])

Lovejoy, T. E., & Nobre, C. (2019). Amazon tipping point: Last chance for action. *Science Advances*, 5(12). doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba2949>

Michaelowa, A., Spalding-Fecher, R., Takahashi, K., Ntabadde, M., Wartmann, S., Matsuo, N. (2022) *Tool for monitoring, reporting and verification of emissions, reductions and removals. Paris Agreement - Article6*. Bonn: UNFCCC Secretariat. Recuperado de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/SB002call-for-input-5.3-MRV-Tool.pdf>

Murthy, M. S. R., Gilani, H., Karky, B. S., Sharma, E., Sandker, M., Koju, U. A., Khanal, S., & Poudel, M. (2017). Synergizing community-based forest monitoring with remote sensing: A path to an effective REDD+MRV system. *Carbon Balance and Management*, 12(1): 19. doi: <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0087-8>.

Nelson, T. M., Yen, B. T., & Sander, B. O. (2021). *Guide to supporting agricultural NDC implementation: GHG mitigation in rice production in Vietnam*. Hanoi, Vietnam: International Rice Research Institute. Recuperado de [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/116147/NDC\\_support\\_Vietnam\\_March2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/116147/NDC_support_Vietnam_March2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Padilha, M. C. de C., Vicente, L. E., Demattê, J. A. M., Loebmann, D. G., Koga-Vicente, A., Salazar, D. F. U. & Guimarães, C. C. B. (2020). Using Landsat and soil clay content to map soil organic carbon of oxisols and Ultisols near São Paulo, Brazil. *Geoderma Regional*, 21: e00253. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00253>

Palmer Fry, B. (2011). Community forest monitoring in REDD+: The “M” in MRV? *Environmental Science and Policy*, 14(2): 181–187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.12.004>

Pará. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. (2023). *Inscrições Territórios Sustentáveis*. Belém: Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas). Recuperado de <https://www.semas.pa.gov.br/formulariots/>

Perosa, B., Newton, P., & Silva, R. F. B. da (2023). A monitoring, reporting and verification system for low carbon agriculture: A case study from Brazil. *Environmental Science and Policy*, 140: 286–296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.12.006>

*Plataforma AgroTag*. (2023). Recuperado de <https://www.agrotag.cnptia.embrapa.br/>

Potenza, R. F., Quintana, G. O., Cardoso, A. M., Tsai, D. S., Cremer, M. S., Silva, F. B., Graces, I., Carvalho, K. C., Coluna, I., Shimbo, J., Silva, C., Souza, E., Zimbres, B., Alencar, A., Angelo, C., & Azevedo, T. (2023). *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021*. [Brasília]: Observatório do Clima. Recuperado de <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>

Qiang, C. Z., Chew Kuek, S., Dymond, A., & Esselaar, S. (2012). *Mobile Applications for Agriculture and Rural Development*. Washington: ICT Sector Unit World Bank. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/c7e6af17-b527-5c54-a352-b3271fa060c0/content>



- Rocha, F. E. C., Brasil, B. dos S. A. F., Borges, J. A. R., Galerani, P. R., Souza, M. G. S., & Machado, M. S. (2021). *Abordagem da Agricultura Comportamental: proposta para a pesquisa em adoção de tecnologia*. Brasília: Embrapa. Recuperado de <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1132121/1/Texto-Discussao-50-ed-01-2021.pdf>
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *198*: 107017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., & Chivers, C. A. (2021). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*, *100*: 104933. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Salati, E., Dall'Olio, A., Matsui, E., & Gat, J. R. (1979). Recycling of water in the Amazon Basin: An isotopic study. *Water Resources Research*, *15*(5): 1250–1258. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/WR015i005p01250>
- Seelan, S. K., Laguette, S., Casady, G. M., & Seielstad, G. A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, *88*(1–2): 157–169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.007>
- United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC (2014). *Handbook on Measurement, Reporting and Verification for developing country parties*. Bonn: UNFCCC Secretariat. Recuperado de [https://unfccc.int/files/national\\_reports/annex\\_i\\_natcom/application/pdf/non-annex\\_i\\_mrv\\_handbook.pdf](https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/application/pdf/non-annex_i_mrv_handbook.pdf)
- United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC (2015). *Paris Agreement*. [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_english\\_.pdf?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA9IC6BhA3EiwAsbltOEc9gyaQ6kJQ3fpwZAIWP1otkB3GLo3RIqV-QF3Sun4laAjCmTemxhoCt2UQAvD\\_BwE](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA9IC6BhA3EiwAsbltOEc9gyaQ6kJQ3fpwZAIWP1otkB3GLo3RIqV-QF3Sun4laAjCmTemxhoCt2UQAvD_BwE)
- United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC (2018). *Achievements of the clean development mechanism: Harnessing Incentive for Climate Action*. Bonn: UNFCCC Secretariat. Recuperado de [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNFCCC\\_CDM\\_report\\_2018.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNFCCC_CDM_report_2018.pdf)
- Vicente, L. E., Gomes, D., Victoria, D. de C., Garçon, E. A. M., Bolfe, E. L., Guimarães, R. G., & Silva, G. B. S. (2012). Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar. *Pesquisa agropecuária brasileira*, *47*(9): 1337-1345. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/pab/a/fBLgmDXjgwCYmMzrKT797CP/?format=pdf&lang=pt>
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, *236*: 111402. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>