

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LÍVIA VITÓRIA FRANÇA BUENO

**Análise da segurança hídrica pela abordagem Nexus
Água, Energia e Alimento com uso de tecnologias
sociais. Estudo de Caso: Município de Paragominas,
Estado do Pará.**

SÃO CARLOS -SP
[2025]

Lívia Vitória França Bueno

Análise da segurança hídrica pela abordagem Nexus Água, Energia e Alimento com uso de tecnologias sociais. Estudo de Caso: Município de Paragominas, Estado do Pará.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Katia Sakihama Ventura

São Carlos-SP

[2025]

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e
por sempre acreditarem em mim;
Ao meu namorado, pela paciência, incentivo
e por estar ao meu lado em todos os
momentos;
Ao meu irmão e afilhado, que com apenas
dois aninhos já ilumina meus dias e me
inspira com sua doçura e alegria.
e aos meus amigos, por tornarem essa
caminhada mais leve.

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus pais, Ludmilla e Adalberto, verdadeiras fontes de amor, força e inspiração, por estarem ao meu lado em cada passo dessa jornada. À minha avó, Ana Lúcia, exemplo de força, determinação e sabedoria, que sempre me ensinou, com gestos e palavras, o valor da persistência e da fé. Aos meus irmãos, Lígia Stefane, Thauí Ayédi e Ravi, que, cada um à sua maneira, enchem minha vida de orgulho, aprendizado e alegria. Agradeço por todo apoio, carinho e por acreditarem em mim mesmo nos momentos mais difíceis. Esta conquista também é de vocês.

Ao meu namorado, Pedro Lucas, que caminhou ao meu lado com paciência, amor e firmeza. Sua presença foi meu refúgio nos dias difíceis e minha alegria nos dias bons. Obrigada por ser meu parceiro em tudo e por me inspirar, todos os dias, a ser uma pessoa melhor.

À minha orientadora, Katia Sakihama Ventura, por ter aceitado guiar meu trabalho e por todo o apoio, dedicação e generosidade ao longo deste percurso. Sua orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e profissional.

E aos meus amigos, que fizeram desses cinco anos uma aventura mais leve e cheia de risos. Obrigada por cada conversa, por cada apoio silencioso ou barulhento, e por tornarem essa jornada inesquecível.

Bueno, L.V.F. Análise da segurança hídrica pela abordagem Nexus Água, Energia e Alimento com uso de tecnologias sociais. Estudo de Caso: Município de Paragominas, Estado do Pará. São Carlos (SP): Departamento de Engenharia Civil (Trabalho de Conclusão de Curso).

RESUMO

A segurança hídrica tem se consolidado como um dos principais desafios para o desenvolvimento sustentável, especialmente em territórios que enfrentam deficiências de infraestrutura básica, como saneamento, acesso regular à água potável e energia, além da baixa presença de políticas públicas efetivas, realidade comum em muitas comunidades rurais da Amazônia oriental. Este trabalho teve como objetivo analisar a segurança hídrica em Paragominas (PA) por meio da abordagem Nexus Água, Energia e Alimento, avaliando a aplicabilidade de tecnologias sociais como soluções sustentáveis, com base em critérios técnicos e socioambientais obtidos na literatura, classificando-as segundo sua adequação aos contextos rural, urbano ou misto. A metodologia adotada consistiu em uma revisão bibliográfica de estudos técnicos, manuais e artigos científicos, com a organização das informações em quadros analíticos, aplicação de critérios Nexus para avaliação setorial e elaboração de um quadro-síntese final. Foram analisadas dez tecnologias sociais, entre elas banheiro seco, bombeamento solar de água, fossa séptica biodigestora e mini-cisternas. Conclui-se que a integração entre tecnologias sociais e a abordagem Nexus AEA contribui significativamente para a segurança hídrica local, oferecendo soluções viáveis para a promoção da sustentabilidade, inclusão social e autonomia comunitária em regiões com maior carência de infraestrutura.

Palavras chave: Segurança da água, Sustentabilidade, Amazônia oriental, área rural, área urbana.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Município de Paragominas no Pará	26
Figura 2 - Estrutura e funcionamento do Banheiro seco	42
Figura 3 - Estrutura e funcionamento do Bombeamento Solar de Água de Superfície	43
Figura 4 - Estrutura e funcionamento do SIGFI	45
Figura 5 - Estrutura e funcionamento do Kit Solar Bacana	46
Figura 6 - Estrutura e funcionamento do Biodigestor	48
Figura 7 - Habitações ecológicas com uso de técnicas da bioconstrução	50
Figura 8 - Funcionamento da Fossa Séptica Biodigestora	51
Figura 9 - Estrutura da Fossa Séptica Biodigestora	52
Figura 10 - Estrutura da Mini-cisternas	53
Figura 11 - Funcionamento das Mini-cisternas	55
Figura 12 - Estocagem das Sementes	56
Figura 13 - Tecnologias Sociais na Abordagem Nexus em Paragominas	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Detalhes do Banheiro Seco	31
Quadro 2: Bombeamento de Água de Superfície	32
Quadro 3: Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI)	33
Quadro 4: Detalhes do Kit Bacana Solar	34
Quadro 5: Biodigestor ou Fossa de Fermentação	35
Quadro 6: Bioconstrução	36
Quadro 7: Fossa séptica biodigestora	36
Quadro 8: Mini-cisternas	37
Quadro 9: Banco Comunitário de Sementes	38
Quadro 10: Saneamento Ecológico com Filtro Biológico	39
Quadro 11: Quadro síntese do uso predominante das TS no contexto urbano, rural e misto pela abordagem nexus AEA em Paragominas (PA)	59

LISTA DE SIGLAS/ ABREVIATURAS

Nexus AEA - Nexus Água, Energia, Alimento.

SIGFI - Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado.

BCS - Banco Comunitário de Sementes

SUMÁRIO

RESUMO	9
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 APLICABILIDADE DE TECNOLOGIAS SOCIAIS DE TECNOLOGIAS SOCIAIS NO CONTEXTO AMAZÔNICO	22
2.2 ABORDAGEM NEXUS ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTO PARA SEGURANÇA HÍDRICA	25
3 METODOLOGIA	26
3.1 OBJETO DE ESTUDO	26
3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS	31
4.2 APLICABILIDADE DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS NO CONTEXTO RURAL, URBANO OU MISTO	41
4.3 IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS NOS SETORES DE ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTO SOB A ABORDAGEM NEXUS	60
4.3.1. Análise das tecnologias sociais pela abordagem nexus AEA em Paragominas	61
4.3.2 Análise da melhoria do ecossistema pelas tecnologias sociais em Paragominas.	64
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Antes de abordar os conceitos centrais deste trabalho, é importante situar que a Amazônia pode ser dividida em duas grandes regiões: a Amazônia Ocidental e a Amazônia Oriental. A Amazônia Ocidental localiza-se na região central da Amazônia continental e compreende os estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima. Já a Amazônia Oriental abrange os estados do Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso. Este trabalho foca na Amazônia Oriental, mais especificamente no município de Paragominas, no Pará.

A segurança hídrica é um conceito essencial para o desenvolvimento sustentável, pois envolve o acesso confiável a água de qualidade e em quantidade suficiente para atender tanto às necessidades humanas quanto às ambientais. Cerca de 1,2 bilhão de pessoas no mundo enfrentam dificuldades de acesso à água potável, impactando não apenas o consumo doméstico, mas também setores fundamentais como a agricultura e a geração de energia (Ribeiro et al., 2020). Garantir a segurança hídrica, portanto, requer uma abordagem integrada que leve em conta a disponibilidade e a qualidade da água, bem como os impactos das atividades humanas sobre os recursos hídricos.

As tecnologias sociais têm se mostrado soluções eficazes para enfrentar os problemas relacionados à escassez hídrica e promover a inclusão social. Desenvolvidas a partir do conhecimento local e da integração com saberes técnicos, essas tecnologias são caracterizadas pelo baixo custo e pela sustentabilidade. Exemplos relevantes incluem sistemas de captação de água da chuva, cisternas e bombeamento de água utilizando energia solar (Nascimento, 2016). Além de mitigar os efeitos da escassez hídrica, essas iniciativas fortalecem a autonomia comunitária e fomentam as economias locais, sendo especialmente adaptáveis às realidades de Paragominas, no Pará.

O município de Paragominas destaca-se pela sua dinâmica de ocupação e uso do solo, que traz desafios específicos para a gestão hídrica. A intensificação das atividades agropecuárias e florestais afeta diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, particularmente nas áreas rurais. Durante os períodos de estiagem, a escassez hídrica compromete tanto a produção agrícola quanto o abastecimento das comunidades, evidenciando a necessidade de soluções integradas e sustentáveis para enfrentar esses problemas (Alves et al.,

2014).

Nesse cenário, a abordagem Nexus Água, Energia e Alimento (AEA) emerge como uma ferramenta analítica que reconhece a interdependência entre esses três sistemas. Essa abordagem busca integrar a gestão de recursos hídricos, energéticos e alimentares, propondo soluções que promovam eficiência no uso dos recursos e sustentabilidade a longo prazo. A abordagem Nexus desempenha um papel central para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, ao equilibrar as demandas humanas e ambientais (Ribeiro et al., 2020).

Embora a Amazônia seja frequentemente associada à abundância de recursos hídricos, a região enfrenta desafios significativos, que vão desde a degradação ambiental até o acesso desigual à água potável. Paragominas exemplifica essas dificuldades ao apresentar cenários de vulnerabilidade que requerem soluções inovadoras e adaptadas às especificidades locais. Este trabalho tem como objetivo analisar a segurança hídrica desse município, utilizando a abordagem Nexus para propor estratégias que sejam sustentáveis e alinhadas às demandas da população.

1.1 JUSTIFICATIVA

A crise hídrica, geralmente relacionada a regiões áridas, também é uma realidade em áreas tradicionalmente conhecidas pela abundância de recursos hídricos, como a Amazônia. No município de Paragominas, localizado no estado do Pará, a escassez de água durante os períodos de estiagem tem se tornado uma preocupação crescente. Isso resulta de uma combinação de fatores, como a intensificação das atividades agropecuárias e o manejo inadequado dos recursos naturais, que impactam as capacidades dos recursos hídricos locais e comprometem a capacidade de abastecimento, especialmente para a população rural. Esse cenário evidencia uma vulnerabilidade hídrica que agrava os desafios relacionados à segurança alimentar e energética, elementos essenciais para o desenvolvimento da região.

A abordagem Nexus AEA apresenta-se como uma metodologia estratégica para compreender as interconexões entre os sistemas de recursos naturais e as atividades humanas. Essa perspectiva permite o desenvolvimento de soluções

integradas que promovam o equilíbrio entre a utilização sustentável dos recursos e o atendimento das necessidades básicas da população. A aplicação de tecnologias sociais baseadas em saberes locais, como sistemas de captação de água da chuva e bombeamento de água movidos à energia solar, tem demonstrado eficácia significativa na diminuição dos impactos da escassez hídrica em comunidades rurais (Sebrae, 2017). Contudo, antes de implementar qualquer tecnologia social, é necessário realizar um estudo detalhado da região, avaliando quais tecnologias são mais adequadas às condições locais para garantir sua eficácia.

Essas tecnologias, desenvolvidas a partir da integração entre conhecimento científico e saberes tradicionais, destacam-se por serem de baixo custo, acessíveis, seguras e adaptáveis às especificidades locais. Essa combinação torna-as específicas para contextos como o de Paragominas, especialmente em períodos de seca. A implementação de tecnologias sociais nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, como os sistemas de bombeamento solar de água, não apenas garante o acesso a recursos básicos, como água e energia, mas também promove a inclusão social e o fortalecimento das economias locais. Além disso, essas tecnologias melhoraram significativamente a qualidade de vida da população ao estimular a autonomia e a gestão comunitária (Nascimento, 2016).

Desta forma, o presente estudo justifica-se pela necessidade de analisar e adaptar soluções fundamentadas no uso de tecnologias sociais que possam contribuir para a segurança hídrica em Paragominas. A partir da aplicabilidade de estratégias inovadoras, como o banheiro seco, mini-cisternas e o kit solar bacana, em consonância com a abordagem Nexus, busca-se propor soluções que não apenas combatam os efeitos imediatos da deficiência hídrica, mas também promovam práticas sustentáveis que atendam às demandas ambientais, sociais e econômicas da região. A seleção das tecnologias deve levar em consideração sua adequação às condições locais e sua capacidade de garantir resultados efetivos e duradouros. Nesse sentido, a análise de Paragominas serve como referência para outras localidades amazônicas que enfrentam desafios semelhantes, reforçando o compromisso com a sustentabilidade e o bem-estar das populações vulneráveis.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho analisou a segurança hídrica na comunidade rural de

Paragominas (PA) por meio da abordagem Nexus Água, Energia e Alimento, avaliando a aplicabilidade de tecnologias sociais como soluções sustentáveis, com base em critérios técnicos e socioambientais obtidos na literatura, classificando-as segundo sua adequação aos contextos rural, urbano ou misto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 APLICABILIDADE DE TECNOLOGIAS SOCIAIS DE TECNOLOGIAS SOCIAIS NO CONTEXTO AMAZÔNICO

A tecnologia social tem sido amplamente discutida como uma ferramenta fundamental para a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida de comunidades vulneráveis. Diferente das tecnologias convencionais, que são geralmente voltadas ao mercado e à potencialização de lucros, as tecnologias sociais se baseiam na interação com as comunidades, promovendo soluções sustentáveis e acessíveis para problemas locais (Nascimento, 2016). Essas soluções são desenvolvidas e aplicadas pelas próprias comunidades, proporcionando autonomia e impacto positivo na sociedade. Além disso, a mesma autora, destaca que a implementação dessas tecnologias requer um planejamento participativo, no qual as comunidades desempenham um papel central na escolha, no desenvolvimento e na adaptação das soluções às suas realidades específicas. Dessa forma, a tecnologia social resolve problemas práticos para cada tipo de realidade, e também fortalece laços sociais e a identidade cultural das comunidades.

O conceito de tecnologia social remonta às tecnologias apropriadas, surgidas na década de 1970, que visavam criar soluções simples para questões ligadas à pobreza e ao desenvolvimento local. No Brasil, a expressão tecnologia social começou a ser utilizada nos anos 1980, trazendo uma abordagem mais focada na participação coletiva e na sustentabilidade. As tecnologias sociais podem ser de baixo custo, facilmente reproduzidas e envolvem conhecimentos tradicionais de cada região e científicos. Essas tecnologias têm sido amplamente utilizadas em setores como agricultura, saúde, educação e infraestrutura básica, possibilitando a criação de sistemas estáveis e adaptáveis. A replicação e a adaptação dessas soluções são fundamentais para sua eficácia em diferentes contextos socioeconômicos e ambientais (Sebrae, 2017).

As tecnologias sociais podem ser classificadas em diversas categorias, incluindo produtos, dispositivos ou equipamentos, processos e metodologias, além de serviços e inovações organizacionais. Essas tecnologias são desenvolvidas a partir da interação entre conhecimento científico e saberes tradicionais, permitindo

soluções sustentáveis para diferentes realidades (Sebrae, 2017). Exemplos notáveis incluem cisternas para captação de água da chuva, biodigestores para produção de biogás e iluminação alternativa com garrafas PET. No contexto das comunidades ribeirinhas, um caso de impacto relevante foi a instalação de sistemas de abastecimento de água movidos a energia solar, que reduziram a exposição dos moradores a riscos ambientais, como ataques de jacarés (Gomes et al., 2021).

Antes dessa tecnologia, a população precisava buscar água diretamente no rio, o que representava perigo constante. Com a implementação do sistema de bombeamento e distribuição, a necessidade de deslocamento foi eliminada, garantindo mais segurança e acessibilidade ao recurso hídrico (Gomes et al., 2021). Além disso, tais inovações promovem autonomia, fortalecem laços comunitários e contribuem para a diminuição da vulnerabilidade socioeconômica.

A segurança hídrica é um conceito essencial para garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades humanas e ambientais. A segurança hídrica está diretamente relacionada à gestão sustentável dos recursos hídricos, levando em consideração fatores como conservação ambiental, qualidade da água e distribuição equitativa (Ribeiro et al., 2020). Em muitas regiões do mundo, a escassez de água compromete a saúde pública e a produção de alimentos, tornando-se um desafio para o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a tecnologia social desempenha um papel crucial, pois permite a implementação de soluções inovadoras para a captação, armazenamento e tratamento da água, garantindo o abastecimento para comunidades vulneráveis.

A abordagem Nexus propõe a interdependência entre os setores de água, energia e alimento para garantir a segurança ambiental e a sustentabilidade. Essa perspectiva pode ser integrada às tecnologias sociais, contribuindo para o desenvolvimento de soluções que otimizem o uso dos recursos naturais. Como exemplo, o uso de sistemas de captação e tratamento de água em comunidades ribeirinhas e rurais tem se mostrado essencial para o abastecimento dessas populações. Além disso, a utilização de energia solar para bombeamento de água e iluminação domiciliar em regiões remotas tem sido uma solução viável para enfrentar a escassez energética em locais afastados. Outro exemplo é a produção agroecológica integrada, que contribui para o acesso a alimentos saudáveis e reduz a pegada ambiental (Ribeiro et al., 2020).

A interação entre tecnologias sociais e a abordagem Nexus permite o

desenvolvimento de soluções sustentáveis que reduzem a pressão sobre os recursos naturais e melhoram a qualidade de vida das comunidades envolvidas. Além da eficiência técnica, é fundamental que haja organização social e envolvimento das comunidades no processo de implementação dessas tecnologias. Isso inclui a participação na instalação e manutenção dos equipamentos, a criação de regulamentos internos para garantir o uso sustentável e a capacitação contínua dos moradores (Nascimento, 2016). A combinação entre diferentes setores e atores sociais fortalece as comunidades, garantindo soluções mais eficientes e duradouras (Ribeiro et al., 2020).

As tecnologias sociais desempenham um papel essencial na promoção do desenvolvimento sustentável e da inclusão social. Ao integrar a abordagem Nexus, essas iniciativas potencializam seus impactos, proporcionando soluções mais eficazes e sustentáveis (Sebrae, 2017). A disseminação e aplicação dessas tecnologias podem transformar realidades e promover maior equidade social e econômica. Dessa forma, a tecnologia social se estabelece como um instrumento poderoso para enfrentar desafios socioambientais e contribuir para o bem-estar coletivo. A contínua pesquisa e inovação no campo das tecnologias sociais são fundamentais para garantir que essas soluções evoluam e se adaptem às necessidades emergentes da sociedade contemporânea.

Portanto, para que as tecnologias sociais sejam verdadeiramente eficazes, é necessário um compromisso com políticas públicas e incentivos governamentais que favoreçam sua disseminação e implementação em larga escala. O investimento em pesquisa, desenvolvimento e capacitação de comunidades são estratégias essenciais para garantir a sustentabilidade dessas iniciativas a longo prazo. A colaboração entre governos, sociedade civil e instituições acadêmicas pode fortalecer redes de conhecimento e inovação, garantindo que essas soluções sejam constantemente aprimoradas e adaptadas a diferentes contextos (Nascimento, 2016). Assim, as tecnologias sociais podem consolidar-se como uma estratégia viável para promover desenvolvimento sustentável e inclusão social de maneira igualitária e eficiente.

2.2 ABORDAGEM NEXUS ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTO PARA SEGURANÇA HÍDRICA

A abordagem Nexus Água-Energia-Alimento (AEA) vem sendo aplicada como uma estratégia analítica e prática para compreender a interdependência entre os recursos naturais e os setores produtivos, especialmente em territórios marcados por desigualdades estruturais, como a Amazônia Paraense. Essa abordagem busca integrar os três pilares fundamentais do desenvolvimento sustentável, água, energia e alimento, a partir de uma perspectiva sistêmica e territorial, orientando políticas públicas mais eficazes e adaptadas às realidades locais (Santos et al., 2024).

A experiência com a aplicação do Nexus AEA na região amazônica demonstra que os desafios relacionados à segurança hídrica não podem ser enfrentados de forma isolada. Questões como acesso à água de qualidade, uso de energia renovável e produção de alimentos estão fortemente conectadas, exigindo soluções integradas. No entanto, apesar da incorporação formal da abordagem Nexus às diretrizes de sustentabilidade e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a sua aplicação prática ainda enfrenta obstáculos significativos, como a falta de articulação institucional entre os setores e a ausência de instrumentos de governança multissetorial (Santos et al., 2024).

Nesse contexto, o objetivo principal deste estudo é identificar indicadores dos três pilares da abordagem Nexus (Água-Energia-Alimento) que sejam compatíveis com as condições da área estudada, a partir de uma revisão bibliográfica aprofundada sobre o tema. Além disso, pretende-se desenvolver um índice Nexus, incorporando métricas voltadas para tecnologia social e segurança hídrica na região.

Os estudos reforçam a importância de considerar a realidade dos territórios na construção de indicadores e métricas para aplicação da abordagem Nexus. Em regiões com baixa cobertura de infraestrutura e grande dependência de recursos naturais, como a Amazônia, soluções baseadas em tecnologias sociais de baixo custo e fácil manutenção são fundamentais para garantir a segurança hídrica e fortalecer a resiliência das comunidades.

3 METODOLOGIA

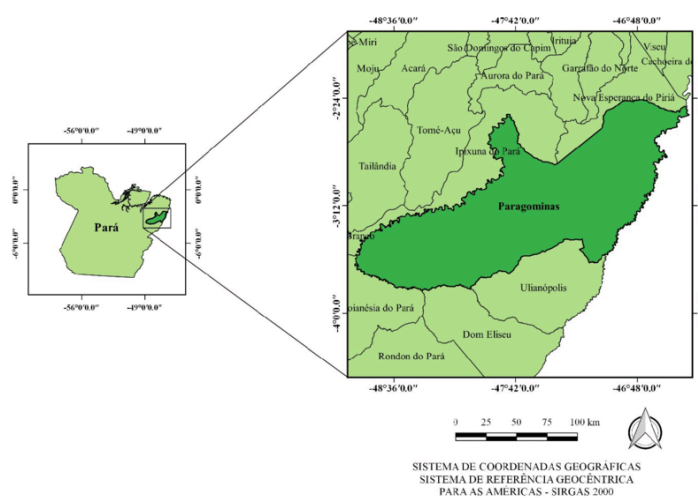
Trata-se de uma pesquisa qualitativa de natureza exploratória, com delineamento metodológico baseado em revisão de literatura. Foram consultados estudos acadêmicos, como teses de mestrado e doutorado, manuais técnicos, e-books e artigos científicos sobre segurança hídrica e tecnologias sociais.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Paragominas, situado no estado do Pará, na região Norte do Brasil, foi fundado em 1950 e localiza-se a aproximadamente 280 km da capital, Belém. O município está inserido em uma região de grande importância hidrológica, abrangendo duas principais bacias hidrográficas: a do rio Capim, que drena cerca de 54% de seu território, e a do rio Gurupi, que cobre os 46% restantes. Essas bacias formam uma rede hidrográfica densa, composta por diversos afluentes que percorrem o município, desempenhando um papel estratégico no equilíbrio ambiental e na definição dos limites naturais com os municípios vizinhos (Pinto et al., 2009).

Sua economia é amplamente impulsionada pelo setor agropecuário, destacando-se a produção de grãos, como soja e milho, além da pecuária bovina (Mares Guia et al., 1999). A área rural do município desempenha papel fundamental na geração de empregos e no desenvolvimento econômico local. A Figura 1 ilustra a localização do município de Paragominas no Pará.

Figura 1 - Município de Paragominas no Pará



Fonte: Oliveira et al. (2018)

Nos últimos anos, a produção agrícola de Paragominas tem apresentado crescimento significativo, impulsionado pela modernização das práticas produtivas e pelo aumento da demanda por commodities agrícolas. No entanto, essa expansão tem gerado desafios ambientais, especialmente no que tange ao uso do solo e à conservação dos recursos naturais. Para mitigar esses impactos, iniciativas sustentáveis têm sido implementadas, como o manejo adequado da terra e a adoção de sistemas produtivos mais eficientes (Alves et al., 2014).

Apesar dos avanços, a região ainda enfrenta dificuldades na implementação de tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento sustentável. A infraestrutura tecnológica limitada e a falta de capacitação dos trabalhadores rurais dificultam a disseminação de práticas agrícolas inovadoras e sustentáveis. Além disso, a carência de acesso à internet em diversas áreas rurais representa um entrave significativo para a ampliação do conhecimento técnico e a melhoria da produtividade no campo (Alves et al., 2014).

A abordagem Nexus, que integra os eixos de água, alimento e energia, também apresenta desafios para o município. A gestão eficiente desses recursos é essencial para garantir um desenvolvimento sustentável, mas práticas inadequadas de manejo ainda ameaçam a disponibilidade hídrica local. O uso intensivo da água na agricultura, somado à insuficiência do fornecimento de energia elétrica em algumas áreas, limita a adoção de tecnologias mais eficientes e sustentáveis (Neves et al., 2014).

A expansão da atividade agrícola tem causado impactos significativos sobre a biodiversidade local, uma vez que a conversão de áreas florestais em cultivos de soja e pastagens contribui para o desmatamento. Embora existam esforços para conter esse avanço, o equilíbrio entre crescimento econômico e preservação ambiental permanece como um grande desafio para Paragominas (Neves et al., 2014).

Diante desse cenário, o município tem investido em iniciativas de regularização ambiental e recuperação de áreas degradadas, demonstrando compromisso com a sustentabilidade. A implementação de práticas agrícolas mais responsáveis e a busca por soluções inovadoras para a gestão de recursos naturais são fundamentais para garantir um futuro sustentável para a região (Mares Guia et

al., 1999; Neves et al., 2014).

3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se em uma abordagem qualitativa, com foco na análise bibliográfica e documental sobre tecnologias sociais e sua aplicabilidade em diferentes contextos (urbano, rural ou misto). O processo iniciou-se com um levantamento bibliográfico voltado à compreensão de cada tecnologia social e de suas possíveis aplicações. Para sistematizar as informações, cada tecnologia social identificada foi organizada em quadros por categorias, considerando as seguintes categorias: conceito, aplicações sociais e ambientais, parâmetros construtivos, operação e manutenção, vantagens, e desafios e observações. A principal contribuição dos quadros apresentados é fornecer subsídios para o desenvolvimento e a implementação de tecnologias sociais em uma comunidade que carece de apoio técnico-científico

Em seguida, passou-se à análise da aplicabilidade dessas tecnologias nos contextos rural, urbano ou misto. Essa etapa também foi guiada por referências bibliográficas, que auxiliaram na identificação de características técnicas e operacionais que indicam em qual tipo de território a tecnologia apresenta melhor desempenho. Como apoio visual, foram consultadas imagens disponíveis na internet para ilustrar a aplicação prática das tecnologias estudadas. Ao final dessa etapa, elaborou-se um quadro-síntese que indicou, para cada tecnologia, a melhor área de atuação (urbana, rural ou mista) e o setor mais representativo de impacto (hídrico, energético ou alimentar), com base no município de Paragominas.

Na etapa seguinte, foi realizada a análise da segurança hídrica com base na abordagem Nexus Água-Energia-Alimento (AEA), com o intuito de posicionar cada tecnologia social no setor ao qual ela mais se adequa. Para isso, foram definidos critérios específicos para os três pilares da abordagem, construídos a partir de questões norteadoras extraídas da literatura especializada. Essas perguntas não apenas guiaram a avaliação, como também serviram como ferramenta metodológica para organizar e classificar as tecnologias conforme sua relação predominante com os setores hídrico, energético ou alimentar.

No setor hídrico, por exemplo, considerou-se se a tecnologia seria capaz de reduzir o consumo de água per capita (Prefeitura de Campinas, 2024), melhorar a

eficiência no uso durante os processos (Prefeitura de Campinas, 2024; Kropf, Schmid e Mitter, 2021; Roo et al., 2021; Mpandeli et al., 2018), ampliar o acesso à água em áreas desassistidas (Rasul e Sharma, 2016; Roo et al., 2021) ou ainda contribuir para a melhoria da qualidade hídrica, como na redução de sólidos suspensos ou na recuperação de corpos d'água degradados (Lal, 2015; Torres et al., 2024).

Para o setor energético, os critérios buscaram identificar tecnologias que diminuíssem o consumo ou a demanda de energia (Torres et al., 2024; Cassidy et al., 2021; Mpandeli et al., 2018), aumentam a disponibilidade de água para a produção energética (Roo et al., 2021) ou utilizam fontes renováveis, fortalecendo a segurança e a resiliência do sistema energético (Mpandeli et al., 2018; Rasul e Sharma, 2016).

Já no setor alimentar, avaliou-se se a tecnologia poderia ampliar a disponibilidade de água para a produção agrícola (Roo et al., 2021), melhorar as condições do solo ou reduzir o uso de água para irrigação (Abdelkader et al., 2018), ou ainda contribuir para a manutenção da produtividade em áreas afetadas por eventos climáticos extremos, como a seca (Rasul e Sharma, 2016).

Esses critérios não foram aplicados apenas como elementos classificatórios, mas também como referência técnica para avaliar o potencial das tecnologias sociais em promover soluções sustentáveis adaptadas à realidade local. Dessa forma, cada pergunta funcionou como um filtro de análise que permitiu compreender se determinada tecnologia atendia às necessidades sociais, ambientais e estruturais do território em questão.

Por fim, a análise das tecnologias sociais segundo a abordagem Nexus AEA em Paragominas foi conduzida com base nas informações sistematizadas no quadro-síntese. A partir da combinação entre os critérios e os dados extraídos das fontes bibliográficas, foi possível alocar cada tecnologia no setor correspondente, respeitando sua funcionalidade e impacto no município. Essa etapa foi complementada por uma análise qualitativa que buscou identificar o potencial de cada tecnologia para promover melhorias no ecossistema local, especialmente no que se refere à inclusão social, à sustentabilidade ambiental e à autonomia das comunidades rurais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS

As tecnologias abordadas são: Sanitário seco, Bombeamento de água de superfície, Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI), Kit Bacana Solar, Biodigestor ou Fossa de fermentação, Bioconstrução, Fossa séptica biodigestora, Mini-cisternas, Banco comunitário de sementes e Saneamento Ecológico com Filtro Biológico.

As tecnologias sociais selecionadas neste trabalho foram avaliadas com base nos critérios técnicos e socioambientais definidos na etapa metodológica (item 3.2), voltados à integração dos setores de água, energia e alimento, seguindo a abordagem Nexus. De modo geral, todas as soluções analisadas atendem satisfatoriamente aos critérios estabelecidos, promovendo o acesso ampliado a recursos básicos, o uso eficiente dos insumos naturais, a valorização dos saberes locais e a conservação ambiental.

No setor hídrico, destaca-se ainda sua contribuição para a segurança hídrica, ao garantir fornecimento contínuo e de qualidade, mesmo em áreas que historicamente não possuem acesso a esses recursos. Embora algumas tecnologias tenham impacto indireto no setor alimentar, seus efeitos sobre o solo, a saúde pública e os recursos hídricos favorecem a segurança alimentar de forma integrada. Assim, reafirma-se a relevância dessas tecnologias para o desenvolvimento sustentável em contextos socialmente desfavorecidos, como é o caso de Paragominas.

Quadro 1: Detalhes do Banheiro Seco

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema fechado de saneamento que não utiliza água, promovendo a decomposição dos dejetos humanos por meio de compostagem ou fossa filtro, minimizando impactos ambientais
Aplicações sociais e ambientais	Alternativa sustentável para comunidades ribeirinhas, evitando a contaminação do solo e da água, especialmente em áreas alagáveis.

	Contribui para a melhoria da saúde pública e reduz doenças de veiculação hídrica
Parâmetros construtivos	Construção adaptável, podendo utilizar materiais locais. Implementado em áreas sem acesso a saneamento convencional. Algumas versões incluem descarga e pia para higiene
Operação e manutenção	Requer manutenção periódica para remoção dos resíduos tratados. Pode exigir adição de serragem ou outros materiais secos para facilitar a decomposição
Vantagens	Maior conforto e higiene para as famílias; não alaga durante as cheias; reduz a contaminação ambiental e melhora a qualidade de vida
Desafios e observações	Necessidade de treinamento para uso correto; pode gerar resistência cultural inicial; exige cuidados na manutenção para evitar odores e garantir a eficiência do sistema

Fonte: Nascimento, 2016 e Viana et al., 2020.

Quadro 2: Bombeamento de Água de Superfície

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema que capta e bombeia água de rios para reservatórios elevados utilizando energia solar fotovoltaica, garantindo abastecimento de água tratada
Aplicações sociais e ambientais	Implementado em comunidades ribeirinhas da Amazônia para facilitar o acesso à água potável, reduzindo doenças de veiculação hídrica e o esforço físico no transporte de água
Parâmetros construtivos	Utiliza bombas submersas movidas a energia solar, reservatórios de fibra de vidro de 5.000 a 10.000 litros e filtros de areia para pré-tratamento

Operação e manutenção	Necessita de manutenção preventiva das bombas, limpeza periódica dos filtros e monitoramento dos reservatórios para garantir o fornecimento contínuo de água
Vantagens	Garante acesso à água tratada, reduzindo doenças; elimina o esforço físico no transporte manual de água; utiliza energia renovável e reduz impactos ambientais
Desafios e observações	Custo inicial pode ser elevado; depende da disponibilidade de luz solar para operação eficiente; demanda treinamento da comunidade para manutenção

Fonte: Nascimento, 2016

Quadro 3: Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI)

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema de geração de energia solar fotovoltaica para comunidades isoladas, composto por módulos solares, baterias, controlador de carga e inversor
Aplicações sociais e ambientais	Implementado em comunidades ribeirinhas da Amazônia, garantindo eletrificação sustentável para iluminação e pequenos eletrodomésticos
Parâmetros construtivos	Inclui dois módulos solares de 100 Wp, duas baterias de 150Ah, controlador de carga e inversor de 250W. Instalado conforme a Resolução ANEEL nº 83/2004
Operação e manutenção	Necessita de limpeza periódica dos painéis solares, monitoramento da carga das baterias e substituição dos componentes conforme desgaste
Vantagens	Reduz a dependência de combustíveis fósseis, melhora a qualidade de vida

	das comunidades e promove acesso contínuo à eletricidade
Desafios e observações	Custo inicial elevado; necessidade de treinamento da comunidade para operação adequada; depende da incidência solar para funcionamento eficiente

Fonte: Nascimento, 2016 e Mota, 2016

Quadro 4: Detalhes do Kit Bacana Solar

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Kit compacto de energia solar de baixo custo, composto por um módulo fotovoltaico de 20Wp, um controlador de carga, bateria de 7Ah, cinco lâmpadas LED artesanais e uma fonte para carregar celular
Aplicações sociais e ambientais	Fornecer iluminação para famílias sem acesso à rede elétrica, reduzindo o uso de velas e lamparinas, melhorando a segurança e qualidade de vida
Parâmetros construtivos	Sistema simples e modular, projetado para suprir necessidades básicas de iluminação e recarga de dispositivos móveis, utilizando materiais de fácil acesso
Operação e manutenção	Requer limpeza periódica dos painéis solares, monitoramento da carga da bateria e substituição de componentes conforme necessário
Vantagens	Baixo custo (cerca de R\$ 250,00), fácil instalação e manutenção, melhora a segurança doméstica e reduz riscos de incêndios causados por lamparinas
Desafios e observações	Capacidade limitada de geração de energia; não suporta eletrodomésticos de alta potência; depende da incidência solar para carregamento eficiente

Fonte: Nascimento, 2016

Quadro 5: Biodigestor ou Fossa de Fermentação

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema fechado de saneamento que promove a decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos e dejetos humanos, sem contato com o solo, gerando biogás e biofertilizante. Adequado para áreas alagáveis e comunidades ribeirinhas.
Aplicações sociais e ambientais	Alternativa sustentável para comunidades rurais e ribeirinhas, especialmente na Amazônia; promove saneamento adequado, geração de energia limpa, redução de poluição e incentivo à agricultura familiar.
Parâmetros construtivos	Pode ser feito de lona ou alvenaria; estrutura elevada e isolada do solo em áreas sujeitas a inundações; inclui tanque de fermentação, tubulações para biogás e armazenamento de efluentes.
Operação e manutenção	Fornecimento regular de resíduos orgânicos ou dejetos; remoção periódica dos resíduos tratados e biofertilizante; monitoramento da produção de gás; cuidados para evitar odores e saturação.
Vantagens	Redução da poluição ambiental, melhora da qualidade de vida, produção de energia renovável, economia de recursos, geração de fertilizante e contribuição à sustentabilidade social e ambiental.
Desafios e observações	Necessita de treinamento comunitário para uso e manutenção adequados; pode haver resistência cultural; investimento inicial pode ser elevado; depende da disponibilidade de resíduos orgânicos.

Fonte: Barbosa e Langer, 2011; Nascimento, 2016; Sebrae, 2017.

Quadro 6: Bioconstrução

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema construtivo baseado no uso de materiais naturais e locais, como terra, madeira, pedra e fibras vegetais, priorizando práticas sustentáveis e de baixo impacto ambiental.
Aplicações sociais e ambientais	Promove moradias acessíveis e sustentáveis, fortalece a economia local ao utilizar recursos naturais da região e reduz impactos ambientais da construção civil tradicional.
Parâmetros construtivos	Uso de técnicas como adobe, superadobe, taipa de pilão, pau a pique e bambu. Estruturas priorizam ventilação cruzada, iluminação natural e isolamento térmico eficiente.
Operação e manutenção	Materiais exigem manutenção periódica para conservação da estrutura. Técnicas como impermeabilização natural e manutenção da cobertura vegetal aumentam a durabilidade
Vantagens	Baixo custo, conforto térmico e acústico elevado, redução da pegada ecológica, incentivo à autoconstrução e resgate de saberes tradicionais.
Desafios e observações	Pode enfrentar barreiras regulatórias e de aceitação no mercado imobiliário. Demanda de mão de obra qualificada e conhecimento técnico específico para correta execução.

Fonte: Sebrae, 2017; Maurício e Araujo, 2017

Quadro 7: Fossa séptica biodigestora

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema de saneamento descentralizado que utiliza biodigestores para tratar esgoto doméstico, promovendo a decomposição da matéria orgânica e

	transformando resíduos em biofertilizante e água tratada.
Aplicações sociais e ambientais	Alternativa eficiente para comunidades rurais, assentamentos e locais sem acesso à rede de esgoto convencional. Reduz riscos sanitários e impactos ambientais, evitando a contaminação do solo e dos recursos hídricos.
Parâmetros construtivos	Composto por um conjunto de tanques sépticos interligados, onde ocorre a digestão anaeróbica. Requer instalação afastada de fontes de água potável e residências, solo permeável para drenagem e acesso para manutenção.
Operação e manutenção	Exige remoção periódica de lodo acumulado e controle da entrada de substâncias químicas que possam prejudicar a atividade biológica dos microrganismos responsáveis pelo tratamento do esgoto.
Vantagens	Baixo custo de implementação e operação; produção de biofertilizante reaproveitável na agricultura; tratamento eficiente do esgoto sem necessidade de eletricidade; reduz emissão de odores e evita proliferação de vetores de doenças.
Desafios e observações	Pode exigir adaptações conforme o tipo de solo e clima da região. Necessidade de conscientização sobre o uso correto para evitar descarte inadequado de produtos químicos que prejudiquem o processo biológico.

Fonte: Sebrae, 2017 e Pereira et al., 2018

Quadro 8: Mini-cisternas

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Sistema compacto de captação e armazenamento de água da chuva, utilizado para fins não potáveis, como

	irrigação, limpeza e descarga sanitária. Projetado para áreas urbanas e espaços reduzidos.
Aplicações sociais e ambientais	Contribui para a economia de água potável e redução do consumo em residências, pequenos comércios e comunidades. Promove a sustentabilidade e melhor aproveitamento dos recursos hídricos em períodos de estiagem.
Parâmetros construtivos	Pode ser construído com materiais acessíveis, como tambores plásticos ou caixas d'água. Inclui calhas para captação, filtro para remoção de impurezas e um reservatório adequado à demanda do usuário.
Operação e manutenção	Necessita limpeza periódica do reservatório e filtros para evitar contaminação e acúmulo de resíduos. Deve ser protegido contra insetos e microrganismos para garantir a qualidade da água armazenada.
Vantagens	Redução da conta de água e do consumo de recursos hídricos; fácil instalação e baixo custo de manutenção; solução sustentável para economia de água em períodos de seca e em locais com escassez hídrica.
Desafios e observações	Eficiência do sistema depende da quantidade de chuvas na região. Uso restrito a atividades não potáveis, exigindo filtragem e tratamento caso necessário. Pode exigir incentivos e conscientização para maior adoção.

Fonte: Sebrae, 2017

Quadro 9: Banco Comunitário de Sementes

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Espaço comunitário organizado para coleta, armazenamento, preservação e distribuição de sementes crioulas e

	nativas, promovendo a biodiversidade agrícola e a soberania alimentar
Aplicações sociais e ambientais	Fortalece a agricultura familiar e a agroecologia, garantindo a preservação de variedades tradicionais e promovendo a autonomia dos agricultores. Contribui para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável de comunidades rurais.
Parâmetros construtivos	Estruturado com locais adequados para armazenamento das sementes, controle da umidade e proteção contra pragas. Pode incluir registros comunitários das variedades armazenadas e promover intercâmbios entre agricultores.
Operação e manutenção	Depende da participação ativa da comunidade, com monitoramento da qualidade das sementes, troca de informações sobre práticas agrícolas e renovação periódica do banco para garantir a diversidade genética.
Vantagens	Preserva a agrobiodiversidade e reduz a dependência de sementes comerciais; fortalece o conhecimento tradicional e a cooperação entre agricultores; contribui para práticas agrícolas mais resilientes e sustentáveis.
Desafios e observações	Exige organização comunitária e capacitação para manutenção adequada; pode enfrentar barreiras institucionais e regulatórias para distribuição de sementes; necessita de apoio técnico e políticas públicas para ampliação da iniciativa.

Fonte: Golpian et al., 2024 e Santos et al, 2012

Quadro 10: Saneamento Ecológico com Filtro Biológico

Categoria	Ponto central
Conceito (O que é?)	Tecnologia de saneamento descentralizado baseada em princípios

	ecológicos, que utiliza filtros biológicos para tratar efluentes domésticos (principalmente águas cinzas e negras), com a atuação conjunta de substratos filtrantes e processos biológicos naturais.
Aplicações sociais e ambientais	Aplicável em comunidades rurais, tradicionais ou de difícil acesso a sistemas convencionais de esgotamento sanitário. Garante o tratamento adequado de resíduos, promovendo saúde pública, proteção ambiental e uso sustentável da água.
Parâmetros construtivos	O sistema é composto por tanques sépticos seguidos de filtros com camadas de brita, areia e carvão, podendo incluir zonas de raízes com plantas macrófitas. O dimensionamento depende da carga orgânica e número de usuários.
Operação e manutenção	Requer inspeções periódicas para garantir a integridade das camadas filtrantes e a remoção de resíduos acumulados. Plantas devem ser monitoradas e podadas conforme o crescimento. A manutenção é simples, mas deve ser constante.
Vantagens	Baixo custo de implantação e operação; não gera odor; utiliza materiais locais; melhora a qualidade da água antes de sua devolução ao meio ambiente; promove a educação ambiental e o protagonismo comunitário
Desafios e observações	Pode haver variação na eficiência dependendo da carga e manutenção; demanda capacitação da comunidade; exige espaço físico; necessidade de adaptação técnica a diferentes contextos climáticos e culturais.

Fonte: Machado et al., 2021 e Grupo Agro Brasil 2022

4.2 APLICABILIDADE DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS NO CONTEXTO RURAL, URBANO OU MISTO

A) Banheiro seco

O banheiro seco, também conhecido como sanitário seco compostável, é uma tecnologia social de saneamento ecológico que promove a decomposição e o aproveitamento de excretas humanas sem o uso de água. Trata-se de um sistema descentralizado, comumente baseado em compostagem ou desidratação, que transforma resíduos orgânicos em adubo agrícola. Embora essa tecnologia possa, em tese, ser adaptada para contextos urbanos, sua aplicação se mostra significativamente mais viável e coerente com as realidades rurais.

Cerca de 79% dos usuários de banheiro seco no Brasil o utilizam em zonas rurais, principalmente pela disponibilidade de espaço, autonomia na gestão do sistema e ausência de redes públicas de esgotamento sanitário (Viana et al., 2020). O banheiro seco representa, nesses locais, uma alternativa de baixo custo, simples construção e grande eficiência na promoção da saúde pública e preservação ambiental. Sua operação não demanda infraestrutura hídrica, tornando-o ideal para regiões com escassez de água e de difícil acesso logístico para esgotamento convencional.

Além disso, as áreas rurais costumam dispor de espaço suficiente para o armazenamento e compostagem segura dos resíduos. A disposição adequada e o reaproveitamento do composto produzido como fertilizante agrícola fazem parte de um ciclo sustentável que respeita e favorece o uso do solo rural (Silva e Picanço, 2021). Em contraste, o uso em contextos urbanos enfrenta desafios estruturais, como a falta de espaço, maior densidade populacional, risco de contaminação cruzada e resistência sociocultural à gestão descentralizada de excretas humanas.

Um aspecto relevante destacado por Silva e Picanço (2021) refere-se à necessidade urgente de soluções adaptadas à realidade rural brasileira, onde os sistemas convencionais de saneamento ainda são escassos ou inexistentes. Apenas 8% das moradias situadas em áreas rurais estavam conectadas à rede pública de coleta de esgoto, enquanto cerca de 13% não dispunham de nenhum tipo de tratamento sanitário (Marques, 2021). Nesse cenário, o banheiro seco

apresenta-se como uma alternativa estratégica para ampliar o acesso ao saneamento básico, ao mesmo tempo em que contribui para a mitigação dos impactos ambientais e sanitários associados ao descarte inadequado de resíduos. A Figura 2 apresenta a estrutura construtiva de um banheiro seco juntamente com a sua aplicação em campo.

Figura 2 - Estrutura e funcionamento do Banheiro seco



Fonte: Irina Biletska, 2018 e Semente das Artes, 2020

Os próprios autores reconhecem que, para contextos urbanos, o banheiro seco ainda carece de ampla aceitação, além de exigir ajustes estruturais, normativos e culturais que vão além da tecnologia em si (Viana et al., 2020). Em áreas rurais, ao contrário, os resultados demonstram uma integração natural com práticas agrícolas e hábitos comunitários, facilitando a adoção e a continuidade do uso da tecnologia.

B) Bombeamento solar de água de superfície

A tecnologia social de bombeamento de água de superfície com energia solar fotovoltaica é uma solução eficiente, sustentável e de baixo impacto ambiental voltada prioritariamente para o contexto rural, especialmente em regiões de clima semiárido. Seu uso está diretamente vinculado às necessidades da agricultura familiar e à ausência de infraestrutura convencional de energia e irrigação.

A aplicação dessa tecnologia tem como foco o bombeamento de água de poços rasos (cacimbões) ou superficiais, visando o abastecimento hídrico de pequenas áreas de produção agrícola (Costa, 2006). Essa necessidade é

particularmente crítica no semiárido brasileiro, onde a distribuição hídrica é irregular e os pequenos produtores enfrentam limitações históricas de acesso à água e energia. A proposta técnica descrita no artigo contempla um sistema composto por quatro subsistemas: o bombeamento solar de água, um reservatório pré-moldado, sistema de irrigação localizada (Xique-Xique) e o cultivo consorciado de culturas alimentares e frutíferas. Esses componentes integram-se com a realidade produtiva e socioeconômica do meio rural. A Figura 3 apresenta a estrutura e o funcionamento desse tipo de instalação.

Figura 3 - Estrutura e funcionamento do Bombeamento Solar de Água de Superfície



Fonte: NeoSolar, 2022

Além disso, os sistemas propostos demandam espaço para a instalação dos painéis solares, reservatórios e infraestrutura de irrigação, um fator limitante em áreas urbanas. A tecnologia também exige gestão comunitária ou familiar da operação e manutenção, algo mais compatível com o modelo de organização rural e agricultura de subsistência do que com o estilo de vida urbano.

Outro ponto que reforça sua adequação ao meio rural é o fato de a irrigação localizada proposta ser mais eficaz em solos com determinadas características, como os encontrados em aluviões e zonas sedimentares. Tais locais não só apresentam disponibilidade hídrica subterrânea mais acessível, como também maior viabilidade técnica e econômica para o uso do sistema proposto (Costa, 2006).

Por essas razões, o bombeamento solar de água de superfície se consolida como uma tecnologia apropriada para áreas rurais, em especial aquelas com baixa densidade populacional, ausência de infraestrutura elétrica e forte vocação agrícola.

Sua implementação fortalece a autonomia produtiva, contribui para a segurança alimentar e promove a sustentabilidade dos sistemas agrícolas de base familiar.

C) Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI)

O Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI) é uma tecnologia social que se adapta tanto a contextos rurais quanto urbanos, oferecendo uma solução sustentável para a geração de energia elétrica descentralizada. Sua aplicabilidade em uso misto decorre da versatilidade do sistema, que pode ser instalado em locais remotos sem acesso à rede convencional, bem como em ambientes urbanos interligados à rede pública.

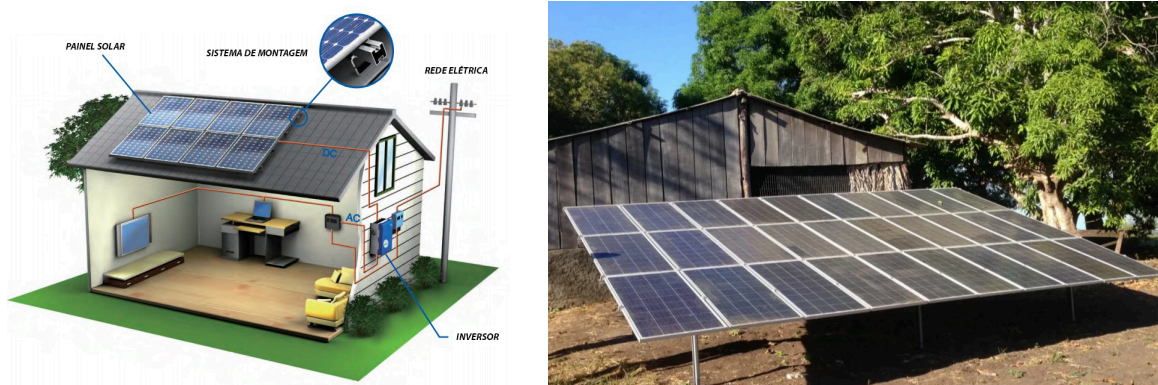
No meio rural, o SIGFI atua como uma alternativa autônoma e eficaz diante da ausência ou da precariedade da rede de distribuição elétrica. Sistemas fotovoltaicos autônomos são especialmente úteis em propriedades agrícolas isoladas, onde o fornecimento elétrico é intermitente ou inexistente (Figueiredo et al., 2018). Esses sistemas garantem o funcionamento de equipamentos essenciais, como bombas, iluminação e aparelhos de comunicação, contribuindo diretamente para a autonomia energética e a permanência das famílias no campo.

Por outro lado, em áreas urbanas, a tecnologia fotovoltaica também se consolida como uma ferramenta de geração distribuída, com benefícios para o sistema elétrico nacional. A integração de sistemas solares à rede urbana pode reduzir perdas elétricas, aliviar o carregamento das redes de distribuição e melhorar a qualidade do fornecimento de energia. Ao mesmo tempo, a inserção da geração distribuída contribui para a diversificação da matriz energética, a redução da emissão de gases de efeito estufa e a descentralização da produção (Braun-Grabolle, 2010).

A adoção do SIGFI em contextos urbanos é incentivada por políticas públicas, como o sistema de compensação de créditos energéticos no Brasil, que permite ao consumidor gerar sua própria energia e injetar o excedente na rede. Já no campo, o SIGFI responde à demanda por soluções autossuficientes, ambientalmente adequadas e de fácil manutenção, especialmente em locais distantes de centros urbanos.

Assim, o SIGFI é uma tecnologia social cuja flexibilidade permite sua implantação tanto em casas isoladas no meio rural quanto em residências, edifícios e empreendimentos urbanos, caracterizando-se como uma solução de uso misto com forte potencial de escalabilidade. A Figura 4 apresenta, respectivamente, a estrutura e o funcionamento desse tipo de instalação.

Figura 4 - Estrutura e funcionamento do SIGFI



Fonte: Rar Energia, 2022 e Para Terra Boa, 2023

D) Kit Bacana Solar

O Kit Bacana Solar, sistema de iluminação domiciliar alimentado por energia solar fotovoltaica, é uma tecnologia social desenvolvida com foco nas populações de áreas rurais isoladas, especialmente comunidades ribeirinhas da Amazônia. Sua concepção visa atender a uma demanda histórica dessas localidades por energia elétrica confiável, sustentável e de fácil manutenção, em locais onde a rede elétrica convencional não alcança.

O Kit Bacana foi implantado com sucesso em comunidades das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã, no estado do Amazonas (Nascimento, 2016). O sistema é composto por uma placa solar, uma bateria e pontos de iluminação LED, sendo dimensionado para consumo doméstico básico, como iluminação e pequenas cargas (rádios e carregadores de celular). Ele se mostrou adequado às condições ambientais e socioeconômicas dessas populações, promovendo significativa melhoria na qualidade de vida, segurança e organização familiar. A Figura 5 apresenta, respectivamente, a estrutura e o funcionamento desse tipo de instalação.

Figura 5 - Estrutura e funcionamento do Kit Solar Bacana



Fonte: Energia total e Mercado Livre, 2024

A escolha pela energia solar se deve à inviabilidade técnica e econômica de extensão da rede elétrica em áreas remotas da Amazônia. Além disso, o sistema fotovoltaico contribui com a conservação ambiental e respeita os modos de vida tradicionais, por ser silencioso, não poluente e exigir pouca manutenção (Nascimento, 2016).

Em contraste, o uso do Kit Bacana em contextos urbanos apresenta diversas limitações. Primeiramente, seu desempenho energético é restrito e incompatível com a demanda urbana, que geralmente envolve o uso de eletrodomésticos de maior potência. Nas cidades, os domicílios já estão conectados à rede pública de energia, tornando o kit tecnicamente redundante e economicamente pouco vantajoso. Além disso, a presença de sombreamento causado por prédios e construções pode prejudicar a captação solar e o desempenho do sistema.

Outro obstáculo no meio urbano é de ordem sociotécnica: nas comunidades rurais, a gestão do Kit Bacana é feita de forma coletiva ou familiar, com acompanhamento comunitário e capacitação local promovida por instituições como o Instituto Mamirauá. Esse modelo participativo é menos viável no meio urbano, onde o senso de coletividade é menos estruturado e as dinâmicas sociais diferem substancialmente.

Portanto, o Kit Bacana Solar é uma tecnologia social de caráter especificamente rural, projetada para responder a um problema concreto de acesso à energia em áreas isoladas, sendo inadequado para a realidade urbana em termos técnicos, econômicos e sociais.

E) Biodigestor ou Fossa de Fermentação.

O Biodigestor, também conhecido como fossa de fermentação, desenvolvido pela Embrapa, é um processo fechado de digestão da matéria orgânica e depende dos microrganismos presentes, principalmente encontrados no esterco bovino fresco, para promover a fermentação anaeróbica dos resíduos humanos e agropecuários.

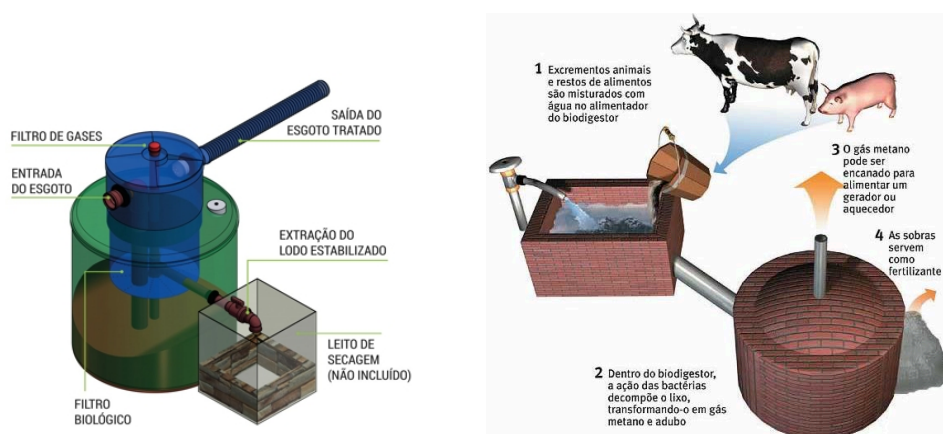
Essa tecnologia social tem como objetivo principal o tratamento do esgoto doméstico e dos dejetos animais em áreas que não possuem acesso à rede pública de esgotamento sanitário, sendo voltada especialmente ao contexto rural brasileiro. Implantada pela Embrapa em 2001, a tecnologia tem sido reconhecida por sua eficiência, baixo custo, simplicidade operacional e potencial de reaproveitamento dos efluentes como biofertilizantes, além da produção de biogás, uma fonte de energia limpa e renovável (Silva et al., 2021; Barbosa e Langer, 2011).

A utilização do biodigestor está vinculada à gestão eficaz dos resíduos orgânicos provenientes das atividades agropecuárias, bem como à busca por alternativas descentralizadas de saneamento e geração de energia, especialmente em propriedades familiares de baixa densidade populacional. Nessas áreas, a existência de espaço físico adequado facilita a instalação dos tanques de fermentação, assim como a obtenção dos insumos necessários, como o esterco e os resíduos gerados no dia a dia da produção rural. Por se tratar de uma estrutura simples e que não requer energia elétrica para operar, o sistema contribui significativamente para a melhoria das condições de saúde pública, ao impedir o descarte inadequado de dejetos humanos e animais no solo ou em corpos hídricos, promovendo, assim, maior segurança hídrica.

Estudos apontam que o uso do biodigestor contribui para a sustentabilidade da produção agropecuária ao tratar adequadamente os resíduos da suinocultura e bovinocultura, reduzir a emissão de metano (CH₄), um potente gás de efeito estufa,

e gerar subprodutos com valor agregado, como o biofertilizante, que pode ser aplicado em lavouras e pastagens. No entanto, é necessário cautela quanto ao uso desse biofertilizante, que, apesar de ser rico em nitrogênio, não deve ser aplicado diretamente em hortaliças consumidas cruas nem em áreas com lençóis freáticos superficiais, a fim de evitar riscos ambientais e à saúde (Silva et al., 2021). A Figura 6 ilustra, respectivamente, a estrutura e o funcionamento desse tipo de instalação.

Figura 6 - Estrutura e funcionamento do Biodigestor



Fonte: Mais Ambiente, 2019 e Coelho, 2012

Apesar de sua eficácia comprovada no meio rural, a adoção do biodigestor em áreas urbanas é limitada por diversos fatores. A alta densidade populacional, a falta de espaço físico e a inexistência de resíduos agropecuários inviabilizam sua instalação e operação eficiente. Além disso, os riscos associados ao armazenamento do biogás e à contaminação cruzada com sistemas públicos de abastecimento de água tornam a biodigestão uma solução pouco adequada para contextos urbanos (Nicácio et al., 2024).

Dessa forma, o biodigestor consolida-se como uma tecnologia social rural, desenvolvida para atender às necessidades específicas do campo brasileiro. Sua adoção promove a sustentabilidade ambiental, melhora a gestão dos resíduos, reduz os custos operacionais com saneamento e energia e fortalece a autonomia das famílias rurais, representando uma estratégia eficaz e acessível de desenvolvimento sustentável em áreas com infraestrutura limitada.

F) Bioconstrução

A bioconstrução configura-se como uma tecnologia social de grande potencial para aplicação tanto em áreas rurais quanto urbanas. Baseada no uso de materiais naturais ou reaproveitados, mão de obra local e técnicas construtivas tradicionais, essa prática reúne sustentabilidade ambiental, viabilidade econômica e valorização de saberes populares. Sua aplicabilidade mista é possível justamente por sua flexibilidade, baixo custo e autonomia no processo de construção.

Nas áreas rurais, a bioconstrução se adapta de forma orgânica à realidade de comunidades com pouco acesso a infraestrutura e financiamento. Como demonstrado no estudo realizado no Assentamento Pequeno William, no Distrito Federal, moradores buscaram alternativas autônomas para construir suas residências diante da ausência de políticas públicas efetivas e dos altos custos da construção convencional. Utilizaram técnicas como taipa de pilão, superadobe e adobe, aproveitando recursos locais como barro, bambu e madeira, o que garante conforto térmico, integração com o meio ambiente e economia financeira (Silva et al., 2019).

Além disso, a construção em regime de mutirão e o resgate dos saberes tradicionais familiares demonstram como a bioconstrução também possui um papel social e pedagógico nas comunidades rurais, promovendo pertencimento e identidade cultural. Mesmo com limitações de assistência técnica, a bioconstrução mostrou-se eficaz para a construção de moradias dignas e sustentáveis, sendo necessária a valorização institucional e acadêmica dessa prática para sua ampliação (Silva et al., 2019).

Já no contexto urbano, a bioconstrução surge como resposta às contradições do modelo de ocupação predominante, marcado pelo alto custo da moradia, geração massiva de resíduos sólidos e exclusão social. A bioconstrução oferece uma alternativa acessível ao déficit habitacional urbano, reduzindo impactos ambientais e promovendo o acesso à moradia através da autoconstrução e do uso de materiais locais ou recicláveis (Aristides e Nabarro, 2024).

Além da viabilidade ambiental, o modelo bioconstrutivo urbano promove o protagonismo das populações de baixa renda e a participação comunitária na produção do espaço. A adoção de técnicas como adobe, pau-a-pique e uso de

bambu, já reconhecidas pelas normas NBR 16814, 2020 e 16828-1,2020, reforça a segurança e a legitimidade da bioconstrução no meio urbano. Apesar das barreiras normativas e da carência de profissionais técnicos capacitados, iniciativas como as desenvolvidas por universidades e movimentos sociais têm ampliado o uso dessas técnicas nas cidades (Aristides e Nabarro, 2024).

Portanto, a bioconstrução pode ser aplicada de forma eficaz em ambos os contextos, adaptando-se à disponibilidade de materiais, às condições climáticas e às necessidades específicas de cada território. No campo, ela representa uma estratégia de resistência e sustentabilidade para comunidades tradicionais e assentadas. Na cidade, oferece uma alternativa à lógica especulativa do mercado imobiliário e contribui para uma ocupação mais justa, autônoma e ecológica dos espaços urbanos. A Figura 7 ilustra a estrutura desse tipo de instalação.

Figura 7 - Habitações ecológicas com uso de técnicas da bioconstrução

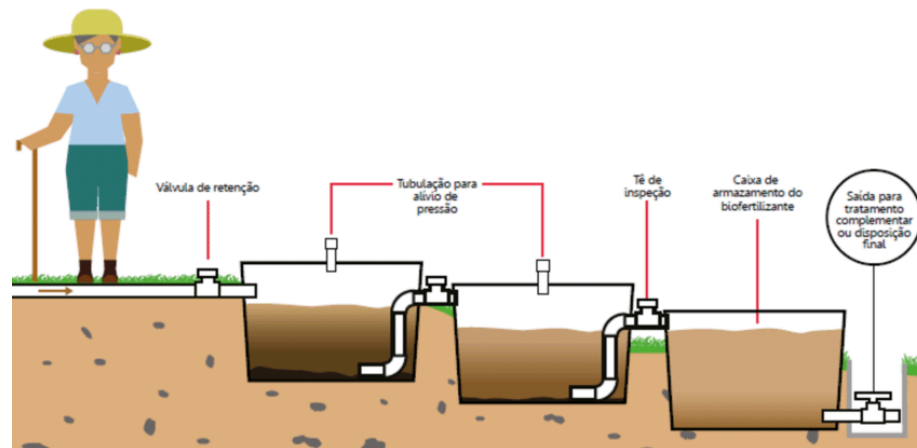


Fonte: Giuliana Flores, 2021

G) Fossa séptica biodigestora

A fossa séptica biodigestora é uma tecnologia social de tratamento descentralizado de esgoto, desenvolvida especialmente para atender populações do meio rural que não dispõem de infraestrutura pública de saneamento básico. Trata-se de um sistema de baixo custo, de fácil operação e manutenção, que utiliza a biodigestão anaeróbia para tratar fezes e urina, promovendo ao mesmo tempo a proteção ambiental e a melhoria das condições sanitárias e de saúde das famílias residentes em áreas afastadas dos centros urbanos (Senna e Silva, 2017). A Figura 8 ilustra o funcionamento desse tipo de instalação.

Figura 8 - Funcionamento da Fossa Séptica Biodigestora



Fonte: Tonetti et al, 2019

Essa tecnologia é voltada para residências unifamiliares, sendo capaz de tratar os resíduos humanos diretamente a partir do vaso sanitário, sem a necessidade de redes públicas de esgoto ou sistemas complementares. O processo de tratamento ocorre com auxílio de microrganismos anaeróbios, e o efluente líquido tratado pode ser utilizado no cultivo de plantas, agregando sustentabilidade ao sistema e reduzindo impactos ambientais (Silva e Picanço, 2021). A Figura 9 ilustra a estrutura.

Figura 9 - Estrutura da Fossa Séptica Biodigestora



Fonte: Fossa Séptica, 2023

O contexto rural brasileiro, marcado por grandes distâncias, baixa densidade populacional e a ausência de redes coletoras de esgoto, torna essa solução não apenas viável, mas necessária. Segundo os dados apresentados no estudo, menos de 10% das residências rurais estão conectadas à rede pública de esgoto, e grande parte adota soluções inadequadas ou sequer realiza qualquer tipo de tratamento. Nesse cenário, a fossa séptica biodigestora destaca-se por sua eficiência, simplicidade e adaptabilidade às condições locais (Costa e Guilhoto, 2014).

Por outro lado, o uso dessa tecnologia não é indicado para áreas urbanas. O sistema demanda uma área física considerável, cerca de 10 a 12 m² para até cinco pessoas, e foi projetado para o volume de esgoto produzido por famílias de zonas rurais, o que não se compatibiliza com a densidade habitacional e os padrões sanitários das cidades. Além disso, o gerenciamento do sistema e a manutenção contínua exigem organização e espaço que muitas vezes não estão disponíveis em ambientes urbanos.

Adicionalmente, em áreas urbanas, o esgoto geralmente contém maior diversidade de resíduos e produtos químicos, o que pode interferir negativamente

na eficiência da biodigestão. O artigo também aponta que a implantação desse tipo de sistema nas cidades exigiria adaptações complexas, além de se sobrepor a redes públicas já existentes, o que inviabiliza sua adoção nesse contexto.

Dessa forma, a fossa séptica biodigestora se mostra como uma tecnologia apropriada para o meio rural, onde é possível aproveitar suas vantagens técnicas, ambientais e econômicas em locais desassistidos pelo poder público. Sua implementação promove o acesso ao saneamento, contribui para a saúde pública e valoriza práticas sustentáveis no campo.

H) Mini-cisternas

A tecnologia social das mini-cisternas, voltada para a captação e armazenamento de águas pluviais, constitui uma alternativa eficaz, de baixo custo e ambientalmente sustentável para a gestão descentralizada da água. Sua simplicidade construtiva, fácil manutenção e flexibilidade de adaptação a diferentes contextos tornam possível sua aplicação tanto em áreas rurais quanto urbanas, ampliando o acesso à água e promovendo o uso racional dos recursos hídricos. A Figura 10 ilustra a estrutura desse tipo de instalação.

Figura 10 - Estrutura da Mini-cisternas



Fonte: Casológica, 2023

No contexto rural, as mini-cisternas desempenham um papel crucial, especialmente em regiões onde a escassez hídrica é agravada pela ausência de

infraestrutura pública de abastecimento. No município de Canoinhas/SC, a inclusão das cisternas como parte das atividades pedagógicas e produtivas das escolas rurais possibilitou não apenas a melhoria das práticas agrícolas e da educação ambiental, como também reforçou a importância do aproveitamento da água da chuva para o desenvolvimento local sustentável (Blaka e Vargas, 2019). Os alunos foram incentivados a compreender a função das cisternas no contexto da segurança hídrica, sendo a tecnologia incorporada ao currículo por meio de atividades práticas interdisciplinares, o que favoreceu sua replicação nas propriedades familiares dos estudantes.

Já nas áreas urbanas, as mini-cisternas também têm se mostrado uma solução eficiente para a mitigação dos efeitos da escassez de água e do alto consumo doméstico, principalmente em regiões com alta densidade populacional e déficit de infraestrutura. Em condomínios residenciais horizontais na cidade de Campina Grande (PB), evidencia como a instalação de mini-cisternas contribuiu para a irrigação de áreas verdes e para o reuso de água em áreas comuns, como jardins e lagos. Os autores destacam que, mesmo em ambientes urbanizados, é possível integrar sistemas simples de captação de águas pluviais aos projetos arquitetônicos existentes, respeitando as limitações de espaço e de uso da água tratada para fins não potáveis (Viana et al., 2019).

A adoção das mini-cisternas em áreas urbanas, contudo, demanda planejamento quanto à destinação do uso da água coletada, respeitando os parâmetros sanitários e a legislação vigente, especialmente em edificações multifamiliares. A experiência relatada por Viana et al. (2020) demonstra que a tecnologia pode ser incorporada a soluções de arquitetura sustentável, reduzindo a dependência do abastecimento convencional e promovendo maior consciência sobre o uso da água entre os moradores. A Figura 11 ilustra o funcionamento.

Figura 11 - Funcionamento das Mini-cisternas



Fonte: Cisterna Coletora, 2023

Portanto, as mini-cisternas configuram-se como uma tecnologia social de uso misto, cuja eficiência e aplicabilidade transcendem a divisão entre o rural e o urbano. Em ambos os contextos, seu uso favorece a autonomia hídrica, promove educação ambiental, contribui para a resiliência frente à crise climática e reduz a pressão sobre os sistemas públicos de abastecimento. Sua versatilidade e a simplicidade operacional, reforça seu caráter estratégico como instrumento de democratização do acesso à água.

I) Banco Comunitário de Sementes

O Banco Comunitário de Sementes (BCS) é uma tecnologia social que consiste na organização coletiva para o armazenamento, troca e preservação de sementes crioulas, com o objetivo de promover a agrobiodiversidade, a soberania alimentar e o fortalecimento da agricultura familiar. Embora sua aplicação possa, em tese, ser adaptada para contextos urbanos, a realidade prática demonstra que sua implementação é significativamente mais viável e coerente com as condições das áreas rurais.

Os bancos de sementes têm desempenhado papel essencial no fortalecimento das comunidades rurais, especialmente diante do avanço da agricultura convencional e da disseminação de sementes transgênicas (Golpian, et al., 2024). Nessas regiões, a disponibilidade de terras cultiváveis, o conhecimento

tradicional dos agricultores e a necessidade de autonomia na produção de alimentos favorecem a adoção da prática. Além disso, a escassez de acesso a sementes diversificadas e adaptadas ao ambiente local torna o BCS uma solução estratégica para pequenos produtores. A Figura 12 apresenta o processo de estocagem das sementes.

Figura 12 - Estocagem das Sementes



Fonte: AS-PTA, 2021

Outro aspecto relevante é o papel dos bancos comunitários de sementes como espaços de articulação social, valorização cultural e fortalecimento da soberania alimentar. A experiência da Rede de Bancos Comunitários de Sementes no Território da Borborema (PB), evidencia que essas iniciativas vão além da simples conservação de sementes crioulas (Silva et al., 2018). Elas promovem a autonomia produtiva dos agricultores familiares, reforçam práticas agroecológicas adaptadas às condições locais e fortalecem os vínculos comunitários. Além disso, contribuem para a resiliência frente às mudanças climáticas e à dependência de insumos externos, ao manterem variedades tradicionais com maior adaptabilidade ambiental.

Além disso, áreas rurais oferecem as condições materiais e simbólicas para o sucesso da tecnologia: há espaço físico para armazenamento e produção, redes de

trocas de sementes entre famílias e a valorização de saberes locais. Em contextos urbanos, por outro lado, há limitações como a ausência de cultivo em escala, dificuldade de manejo adequado e baixa familiaridade com práticas agrícolas tradicionais. A falta de espaço e o distanciamento da produção alimentar direta dificultam a aplicação funcional do BCS nas cidades.

Assim, embora a ideia de banco de sementes possa inspirar ações educativas ou hortas comunitárias urbanas, sua forma tradicional e mais efetiva está enraizada no contexto rural. O BCS se alinha naturalmente com os ciclos produtivos do campo, as lógicas de subsistência e a valorização do patrimônio genético regional.

J) Saneamento Ecológico com Filtro Biológico

O Saneamento Ecológico com Filtro Biológico é uma tecnologia social voltada para o tratamento descentralizado e sustentável de águas residuais, que combina elementos naturais e construídos, como plantas, substratos filtrantes e microrganismos, para purificar e reaproveitar os efluentes. Embora essa tecnologia possa ser adaptada para contextos urbanos, sua aplicação é significativamente mais eficaz e coerente com as realidades das áreas rurais e comunidades tradicionais.

A implementação de filtros biológicos em comunidades rurais e tradicionais, como a Caiçara da Praia do Sono (RJ), mostra que esse modelo de saneamento promove ganhos estruturais e simbólicos (Machado et al., 2021). Ao utilizar sistemas como tanques de evapotranspiração e filtros de águas cinzas, é possível tratar os resíduos localmente, reaproveitando nutrientes, evitando a poluição e fortalecendo a autonomia comunitária.

Nas zonas rurais, a escassez de redes públicas de esgoto e a ampla disponibilidade de espaço físico são fatores que favorecem a adoção dessa tecnologia. Além disso, os materiais utilizados, como brita, areia, entulho, carvão vegetal e plantas locais, podem ser obtidos na própria região, reduzindo custos e viabilizando a construção com mão de obra comunitária. Esses filtros também se integram à paisagem local, podendo gerar alimentos (como bananas nos sistemas

TEVAP), promover o reuso da água e restaurar ciclos ecológicos, o que reforça seu valor ecológico e econômico (Machado et al., 2021).

Por outro lado, a aplicação urbana enfrenta obstáculos como a limitação de espaço, normas sanitárias rígidas, maior complexidade logística e sociocultural, além da ausência de conexão com práticas de vida ligadas à terra. O filtro biológico, como tecnologia social, demanda participação ativa das comunidades, o que é mais viável em espaços onde há vínculos diretos com o território, como ocorre nas comunidades rurais.

Além disso, a abordagem integral proposta destaca a importância de articular dimensões ambientais, sociais e subjetivas (Machado et al., 2021). O saneamento ecológico é visto não apenas como solução técnica, mas como processo de transformação cultural, promovendo o protagonismo local, a educação ambiental e a saúde coletiva.

Portanto, o Saneamento Ecológico com Filtro Biológico se mostra particularmente adequado para áreas rurais, pois dialoga com as necessidades locais, respeita a cultura territorial e fortalece a soberania sanitária das comunidades. Sua replicação, quando baseada na escuta, no diálogo e na participação horizontal, contribui para a construção de soluções sustentáveis, acessíveis e apropriadas ao contexto social e ambiental do campo.

Ao analisar cada tecnologia social e sua aplicação em contextos urbano, rural ou misto, buscou-se identificar aquelas que melhor atendem aos critérios de instalação, manutenção, parâmetros construtivos, bem como às demandas sociais e ambientais. Para fundamentar essa escolha, foram utilizados artigos científicos que evidenciam a relevância e a adequação de cada tecnologia ao território onde foi proposta sua implementação. O quadro apresentado a seguir sintetiza essas análises, identificando o uso predominante de cada tecnologia, seja ele urbano, rural ou misto, e oferecendo uma visão geral do que foi discutido ao longo do texto.

Quadro 11: Quadro síntese do uso predominante das TS no contexto urbano, rural e misto pela abordagem nexus AEA em Paragominas (PA)

Tecnologia Social	Área Urbana	Área Rural	Urbana/Rural	Setor hídrico	Setor energético	Setor alimentar
Sanitário seco		X		X		
Bombeamento de água de Superfície		X		X		
Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI)			X		X	
Kit Bacana Solar		X			X	
Biodigestor ou Fossa de fermentação		X				X
Bioconstrução			X		X	
Fossa séptica biodigestora		X				X
Mini-cisternas			X	X		
Banco Comunitário de Sementes		X				X
Saneamento ecológico com filtro		X		X		

biológico						
-----------	--	--	--	--	--	--

Fonte: Autoria própria, 2025 com base Nascimento, 2016; Sebrae, 2017

No setor hídrico, as tecnologias sociais analisadas promovem acesso, uso sustentável e proteção da água. As mini-cisternas captam água da chuva e ampliam a autonomia hídrica. O saneamento ecológico com filtro biológico, a fossa séptica biodigestora e o biodigestor tratam efluentes no meio rural, evitando contaminação de solos e mananciais. O bombeamento de água de superfície assegura o abastecimento em áreas isoladas. O Sanitário seco dispensa o uso de água, sendo ideal para áreas com escassez hídrica. A Bioconstrução e o Kit Bacana Solar, apesar de priorizarem energia e moradia, fortalecem a gestão integrada dos recursos hídricos. Por fim, o Banco Comunitário de Sementes estimula práticas agrícolas sustentáveis, com menor dependência hídrica. Em conjunto, essas tecnologias fortalecem a segurança hídrica local, sobretudo em áreas sem infraestrutura pública.

4.3 IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS NOS SETORES DE ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTO SOB A ABORDAGEM NEXUS

O aumento da escassez hídrica e das desigualdades no acesso a recursos básicos, como água potável, energia elétrica e alimento, especialmente em regiões rurais da Amazônia, exige estratégias integradas e sustentáveis. Nesse contexto, a abordagem Nexus, que compreende as interconexões entre os setores de água, energia e alimento, apresenta-se como uma ferramenta metodológica essencial para o planejamento e a implementação de políticas públicas e ações comunitárias voltadas à segurança ambiental e à qualidade de vida das populações vulneráveis (Ribeiro et al., 2020; Rasul e Sharma, 2016).

As tecnologias sociais são, nesse cenário, instrumentos promissores para a organização dos princípios da abordagem Nexus, para a segurança hídrica. Por serem desenvolvidas a partir da articulação entre conhecimento científico e saberes tradicionais, essas tecnologias respondem de maneira direta às necessidades locais e se caracterizam por serem acessíveis, sustentáveis e participativas (Nascimento, 2016; Sebrae, 2017).

A aplicação dessas tecnologias sociais, especialmente em áreas com déficit hídrico, contribui de maneira significativa para a segurança hídrica, abordando tanto a qualidade quanto a disponibilidade de água. Tecnologias como o sanitário seco, ao evitar o uso de água no esgotamento sanitário, reduzem a pressão sobre os recursos hídricos locais. As mini-cisternas favorecem a captação e o armazenamento da água da chuva, garantindo uma fonte adicional de água potável em períodos de seca. O biodigestor e a fossa séptica biodigestora não só tratam os resíduos de forma eficiente, mas também contribuem para a preservação da qualidade da água ao evitar a contaminação de fontes hídricas. Já o saneamento ecológico com filtro biológico utiliza processos naturais para purificar as águas residuais, promovendo o reuso da água e melhorando os ecossistemas locais.

Essas tecnologias, ao serem adaptadas às condições específicas de cada comunidade, favorecem uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, diminuindo a vulnerabilidade hídrica e fortalecendo a capacidade das populações de lidar com as mudanças climáticas.

4.3.1. Análise das tecnologias sociais pela abordagem nexus AEA em Paragominas

Setor hídrico: Acesso a água e redução da vulnerabilidade social

Paragominas é um município com grande extensão rural e, nesse contexto, as tecnologias sociais mais aplicáveis para garantir o acesso à água e a redução da vulnerabilidade social incluem o Sanitário Seco, o Bombeamento de Água de Superfície, as Mini-cisternas e o Saneamento Ecológico com Filtro Biológico.

No âmbito da segurança hídrica, os impactos proporcionados por essas tecnologias sociais revelam-se significativos e multifacetados. Um dos principais efeitos observados é a ampliação do acesso seguro à água em regiões anteriormente não contempladas por sistemas convencionais de abastecimento (Roo et al., 2021; Rasul e Sharma, 2016).

Entre essas tecnologias, destaca-se o sistema de bombeamento de água de superfície acionado por energia solar fotovoltaica, que tem desempenhado um papel essencial em comunidades ribeirinhas, ao substituir o transporte manual de água pela distribuição automatizada, contínua e segura de água potável (Nascimento, 2016).

Há relatos frequentes de que, após a implementação dessas tecnologias, ocorreu uma melhoria significativa nas condições de segurança da população local, sobretudo considerando que, em contextos anteriores à implementação dessas soluções, crianças e idosos estavam sujeitos a riscos constantes, como ataques de animais silvestres, ao se dirigirem sozinhos às margens dos rios em busca de água (Gomes et al., 2021).

A redução desse esforço físico e da exposição a situações perigosas, aliada à melhoria das condições sanitárias, resulta em benefícios expressivos para a saúde pública, particularmente na diminuição de enfermidades transmitidas por meio da água contaminada.

O Sanitário Seco, por sua vez, contribui diretamente para a preservação dos recursos hídricos ao eliminar o uso de água no esgotamento sanitário. Essa solução é especialmente eficaz em áreas com escassez hídrica, onde a disponibilidade de água potável é limitada, evitando a contaminação de corpos d'água e promovendo uma gestão mais sustentável dos resíduos sanitários. Além de reduzir a demanda por sistemas convencionais de esgotamento, essa tecnologia fortalece a soberania sanitária das comunidades e pode ser implementada com materiais locais, promovendo o protagonismo comunitário.

Outras soluções, como as mini-cisternas, proporcionam o aproveitamento da água da chuva para usos não potáveis, contribuindo para a redução do consumo per capita e para o uso mais eficiente dos recursos hídricos (Prefeitura de Campinas, 2024; Roo et al., 2021). Além disso, em regiões onde o acesso à rede pública de abastecimento é inexistente, essas cisternas representam uma solução viável e de baixo custo para suprir demandas domésticas e agrícolas durante os períodos de estiagem.

A melhoria da qualidade da água também é um impacto relevante promovido por tecnologias como as fossas sépticas biodigestoras, o saneamento ecológico com filtro biológico e as fossas de fermentação. Essas tecnologias reduzem a carga orgânica lançada no ambiente, prevenindo a contaminação de corpos hídricos e, conseqüentemente, restaurando ecossistemas locais (Lal, 2015; Torres et al., 2024). Além disso, ao operarem com mecanismos de separação, filtragem e digestão anaeróbica, tais sistemas evitam o contato direto dos dejetos com o solo e a água, o que fortalece a adaptação ambiental das comunidades amazônicas (Nascimento, 2016; Barbosa e Lager, 2011).

Setor Energético: Uso de fontes renováveis e de baixo impacto socioambiental

No eixo energético, a adoção de tecnologias sociais evidencia o potencial de reduzir a demanda por fontes não renováveis e ampliar o acesso à energia limpa em áreas isoladas. Soluções como o Sistema Individual de Geração Fotovoltaica Integrado (SIGFI) e o Kit Bacana Solar promovem o acesso à energia elétrica sustentável em comunidades isoladas, permitindo o funcionamento de equipamentos básicos, como iluminação e carregamento de aparelhos eletrônicos, essenciais para a qualidade de vida e a comunicação nas áreas rurais (MOTA et al., 2016; NASCIMENTO, 2016).

Ao utilizar fontes renováveis, como a luz solar, essas tecnologias reduzem a demanda por energia convencional e fortalecem a segurança energética das comunidades, tornando-as menos dependentes da rede elétrica, sobretudo em áreas onde ela é instável ou sequer está disponível, e do uso de combustíveis fósseis (Mpandeli et al., 2018; Rasul e Sharma, 2016). Além disso, a substituição de fogões e geradores movidos a combustíveis fósseis contribui para a redução dos impactos das mudanças climáticas e para a melhoria da saúde pública (Torres et al., 2024).

Setor Alimentar: Uso sustentável do solo e segurança alimentar

O uso sustentável do solo e a garantia da segurança alimentar são elementos centrais da abordagem Nexus quando se considera a realidade das comunidades rurais da Amazônia. Nesse contexto, tecnologias sociais como o biodigestor, a fossa séptica biodigestora e o banco comunitário de sementes demonstram contribuições significativas. O biodigestor, ao realizar a decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, gera biofertilizante líquido, que pode ser utilizado para enriquecer o solo de forma natural, sem a necessidade de insumos químicos industrializados. Esse processo promove a melhoria da qualidade e do aproveitamento do solo, beneficiando diretamente os cultivos agrícolas (Sebrae, 2017; Barbosa e Langer, 2011).

De maneira semelhante, a fossa séptica biodigestora, além de tratar esgoto doméstico de forma descentralizada e segura, resulta na produção de biofertilizantes que podem ser aplicados na agricultura, promovendo um ciclo de reaproveitamento de nutrientes e reduzindo a poluição ambiental. Tal prática colabora diretamente para o manejo responsável dos recursos naturais, ao mesmo

tempo em que viabiliza técnicas agrícolas acessíveis para agricultores de baixa renda, diminuindo a dependência de fertilizantes sintéticos (Pereira et al., 2018; Sebrae, 2017).

Já o banco comunitário de sementes fortalece a soberania e a segurança alimentar ao conservar, multiplicar e distribuir sementes crioulas e nativas, adaptadas às condições ambientais e culturais locais. Esse sistema assegura a diversidade genética das lavouras e permite que os agricultores selecionem variedades mais adaptadas às condições locais, contribuindo para a continuidade da produção mesmo diante de variações climáticas ou perdas anteriores causadas por estiagens. Além disso, ao evitar a dependência de sementes comerciais, o banco valoriza os saberes tradicionais, incentiva a cooperação entre famílias agricultoras e promove práticas agrícolas sustentáveis, alinhadas à conservação do solo e da biodiversidade (Golpian et al., 2024; Santos et al., 2012).

4.3.2 Análise da melhoria do ecossistema pelas tecnologias sociais em Paragominas.

O ecossistema rural de Paragominas, marcado por uma biodiversidade rica, porém vulnerável à degradação pelo avanço da agropecuária e pelo uso inadequado dos recursos naturais, apresenta potencial significativo para ser beneficiado pela adoção de tecnologias sociais. Considerando as características locais, soluções como sanitários secos, fossas biodigestoras e filtros biológicos se mostram promissoras para reduzir a carga poluente nos corpos hídricos e no solo, contribuindo para a conservação ambiental e para a restauração de áreas degradadas (Lal, 2015; Torres et al., 2024).

A substituição de fontes fósseis por sistemas de energia solar, como o SIGFI e o Kit Bacana Solar, pode representar um avanço importante para a redução das emissões de gases de efeito estufa e o fortalecimento da resiliência climática, especialmente em comunidades isoladas (Rasul e Sharma, 2016). Já tecnologias como o biodigestor e os bancos de sementes nativas indicam potencial para melhorar a qualidade do solo, ampliar a diversidade genética agrícola e apoiar práticas agroecológicas sustentáveis.

A análise dessas tecnologias sociais no contexto de Paragominas permite avaliar sua capacidade de fortalecer os serviços ecossistêmicos locais, como a

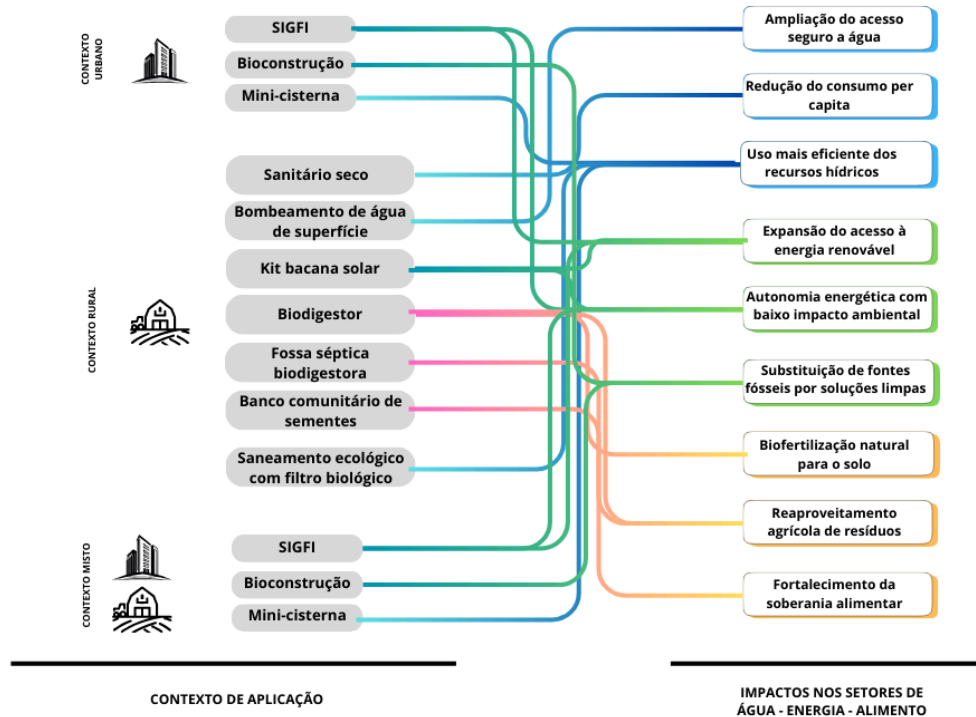
purificação da água, o equilíbrio dos ciclos naturais e a conservação da biodiversidade. Assim, a adoção dessas soluções pode representar um caminho viável para promover o uso racional dos recursos naturais, reduzir a pressão sobre o meio ambiente e impulsionar o desenvolvimento sustentável da região, desde que adaptadas às especificidades ecológicas e sociais do território (Tagomori et al., 2024; Cassidy et al., 2021).

A figura 13 apresenta uma síntese das tecnologias sociais analisadas neste estudo, distribuídas conforme seu contexto de aplicação (urbano, rural e misto) e seus potenciais impactos nos setores de água, energia e alimento, com base na abordagem Nexus.

No lado esquerdo, são listadas as tecnologias identificadas ao longo deste trabalho, enquanto no lado direito estão os impactos associados, organizados por setor: hídrico (em azul), energético (em verde) e alimentar (em laranja).

As conexões traçadas entre tecnologias e impactos ilustram como essas soluções, se implementadas em Paragominas, poderão contribuir de maneira integrada para o uso mais eficiente dos recursos naturais, a ampliação do acesso a serviços básicos e o fortalecimento das condições de vida da população local. Essa representação evidencia os múltiplos benefícios potenciais que a adoção dessas tecnologias pode trazer ao município, reforçando a importância de estratégias sustentáveis e intersetoriais no planejamento territorial.

Figura 13 - Tecnologias Sociais na Abordagem Nexus em Paragominas



Fonte: Autoria própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar a segurança hídrica da comunidade rural de Paragominas (PA) por meio da abordagem Nexus Água, Energia e Alimento, com foco na aplicabilidade de tecnologias sociais sustentáveis e classificadas quanto à sua adequação aos contextos rural, urbano ou misto. Com base na revisão bibliográfica e na sistematização dos critérios técnicos e socioambientais, pode-se considerar que o objetivo geral foi atingido, uma vez que foi possível identificar indicadores específicos para cada pilar da abordagem Nexus, bem como associá-los a tecnologias que demonstram maior viabilidade e impacto positivo na realidade local.

A abordagem Nexus AEA mostrou-se uma estratégia promissora para integrar soluções nos setores de água, energia e alimento de forma coordenada, considerando a interdependência entre esses sistemas. Entre seus pontos fortes, destaca-se a capacidade de promover soluções que considerem simultaneamente

os aspectos ambientais, sociais e técnicos. No entanto, ainda persistem limitações, como a escassez de estudos que utilizem essa abordagem para classificar tecnologias sociais segundo a área de aplicação, além da falta de dados sobre os custos de instalação, manutenção e operação. Também foram observadas dificuldades relacionadas à implementação prática de algumas tecnologias, como a necessidade de capacitação técnica das comunidades e barreiras culturais quanto à aceitação de métodos alternativos de saneamento e abastecimento.

As tecnologias sociais demonstraram ser ferramentas valiosas para melhorar o acesso à água em quantidade e qualidade adequadas, especialmente em áreas com infraestrutura limitada, baixos níveis de renda e acesso precário a serviços públicos. Ao integrar saberes tradicionais e conhecimentos técnicos, essas tecnologias ampliam a autonomia das comunidades locais, contribuem para a conservação ambiental e promovem a inclusão social. Quando associadas à abordagem Nexus AEA, tornam-se ainda mais relevantes, pois reforçam o uso racional e integrado dos recursos naturais. Nesse contexto, sua aplicação contribui diretamente para o fortalecimento da segurança hídrica, ao garantir o abastecimento sustentável de água e ao minimizar os impactos da escassez em áreas vulneráveis. Elas oferecem caminhos viáveis para a construção de uma realidade mais justa e sustentável, tanto em Paragominas quanto em outras comunidades com características semelhantes.

Este estudo pode contribuir, mesmo que de forma preliminar, para direcionar tecnologias sociais que incluam pessoas sem acesso à água ou sem mecanismos de aproveitamento energético e de valorização do alimento. Com isso, há potencial para apoiar metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, como o combate à fome (ODS 2), o acesso a saneamento seguro (ODS 6) e a redução da vulnerabilidade social (ODS 10). Engajar comunidades, comitês locais e instituições diversas pode estimular a implementação dessas tecnologias de forma integrada e participativa.

Espera-se assim fortalecer a própria sociedade, valorizando culturas locais e reconhecendo o potencial das tecnologias como soluções sustentáveis diante da escassez hídrica, das perdas na distribuição, dos resíduos orgânicos e das deficiências nutricionais e energéticas. Essas soluções são especialmente relevantes em territórios com infraestrutura precária, pois podem reduzir danos

sociais, ambientais e econômicos em curto, médio e longo prazo, sobretudo frente às consequências das mudanças climáticas.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível adquirir conhecimento técnico e científico relevante, especialmente ao compreender o potencial transformador de tecnologias sustentáveis em comunidades carentes e os desafios associados à sua implementação. Destaca-se, ainda, a importância da gestão comunitária participativa para a sustentabilidade e a eficácia dessas tecnologias, o que evidencia a necessidade de abordagens integradas e colaborativas para sua adoção.

Por fim, é importante destacar a limitação deste estudo quanto à quantificação do consumo de água, energia e alimento em cada tecnologia social analisada, uma vez que não foi possível identificar dados suficientes durante o levantamento bibliográfico. Essa limitação reforça a importância de estudos futuros que possam desenvolver métodos específicos, como modelagem ou dinâmica de sistemas, para mensurar tais impactos de forma mais precisa e aprofundada.

REFERÊNCIAS

Abdelkader, A.; Elshorbagy, A.; Tuninetti, M.; Laio, F.; Ridolfi, L.; Fahmy, H.; & Hoekstra, A. Y. (2018). National water, food, and trade modeling framework: The case of Egypt. *Science of the Total Environment*, 639, 485– 496. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.197>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, L. G. T. Diagnóstico Agrícola do Município de Paragominas, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 26p., 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/988380/1/BPD91.pdf>. Acesso em: 10 Fev. 2025.

ARISTIDES, R. L.; NABARRO, S. A. Bioconstrução como Alternativa Sustentável para a Ocupação do Espaço Urbano. *Geografia (Londrina)*, v. 34, n. 1, p. 189–207, 2024. DOI: 10.5433/2447-1747.2025v34n1p189 . Disponível em: <https://www.ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/51135>. Acesso em: 03 Abr. 2025.

AS-PTA – AGRICULTURA FAMILIAR E AGROECOLOGIA. É hora de reabastecer os bancos de sementes comunitários e reforçar a estratégia das comunidades livres de transgenia. 15 dez. 2021. Disponível em: <https://aspta.org.br/2021/12/15/e-hora-de-reabastecer-os-bancos-de-sementes-com-unitarios-e-reforcar-a-estrategia-das-comunidades-livres-de-transgenia/>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16814:2020: Adobes - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16828-1:2020: Estruturas de bambu - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. *Unoesc & Ciência - ACSA*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 87–96, 2011. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/acsa/article/view/864>. Acesso em: 2 Abr. 2025.

BLAKA, R. de F. C.; VARGAS, L. P. Práticas pedagógicas interdisciplinares para a educação do campo. Prefeitura Municipal de Canoinhas: UnC, 2019. 42 p. ISBN: 978-65-81465-05-6. Acesso em: 03 Abr. 2025.

BRAUN-GRABOLLE, P. A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana. 2010. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/94235>. Acesso em: 10 abr. 2025.

CASSIDY, J.; SILVA, T.; SEMIÃO, N.; RAMALHO, P.; SANTOS, A.; FELICIANO, J. Improving wastewater treatment plants operational efficiency and effectiveness through an integrated performance assessment system. H2Open Journal, v.3, n.1, p. 276- 287, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/h2oj.2020.007>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

CASOLÓGICA. Kit Mini Cisterna 240l + Eco Filtro – Bombona / Tambor / Barrica / Chuva. [S.l.]: Casológica, 2023. Disponível em: <https://casologica.com.br/produto/kit-mini-cisterna-240/>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

COELHO, P. Engenharia Química Santos. Biodigestores Contínuos e de Batelada: Funcionamento e Vantagens. 27 jul. 2012. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

CISTERNA COLETORA: economize água com ajuda da chuva. Grupo Hídrica. 2023. Disponível em: <https://grupohidrica.com.br/cisterna-coletora-economize-agua-com-ajuda-da-chuva/>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 19, spe, p. 52-53, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000171>. Acesso em: 20 dez. 2024.

COSTA, Heitor Scalabrini. Tecnologia apropriada para a agricultura familiar sustentável do semi-árido brasileiro: bombeamento solar de água para irrigação localizada.. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 6., 2006, Campinas. Disponível em:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200044&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 03 Abr. 2025.

ENERGIA TOTAL. Kit Energia Solar: Kit para energia solar campo rural. 2024. Disponível em:

<https://www.energiatotal.com.br/kit-energia-solar-kit-para-energia-solar-campo-rural-1241>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

FIGUEIREDO, H. F. M.; PODOLAK, L.; SCHULTZ, L. R. K. Projeto e desenvolvimento de um sistema fotovoltaico autônomo voltado a área rural. Revista Técnico-Científica do CREA-PR, Edição Especial, Nov. 2018. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/revista-tecnico-cientifica>. Acesso em: 10 Abr. 2025.

Fossa séptica: ótima opção de tratamento de esgoto no meio rural. 2023: Produção de Biodiesel, 2023. Disponível em: <https://www.producaodebiodiesel.com.br/meio-ambiente/fossa-septica-otima-opcao-de-tratamento-de-esgoto-no-meio-rural>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

GIULIANA FLORES. Saiba o que é a bioconstrução e como ela afeta o meio ambiente. 19 Abr. 2021. Disponível em: <https://blog.giulianaflores.com.br/descubra-o-que-e-a-bioconstrucao-e-suas-curiosidades/>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

GOLPIAN, L.; CABREIRA, A. O.; GIOVENARDI, J. T.; DOMINGOS, J. D.; PEREIRA, Z. V. Banco Comunitário de Sementes Crioulas de Juti, MS: Uma Estratégia de Agroecologia e Soberania Alimentar para Pequenos Produtores Rurais. Anais do Agroecol, Campo Grande, v. 19 n. 2, 2024. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/10011>. Acesso em: 27 Mar. 2025.

GOMES, M. C. R. L.; LOPES, R. D.; REIS, A. V.; SILVA, M. das M. B. da; GOMES, M. das D. M.; CORRÊA, D. S. S.. Tecnologia social para abastecimento de água de

comunidades ribeirinhas na região do Médio Solimões (Amazonas). Encontro Nacional pelos Direitos Humanos à água e ao saneamento, Dez. 2021. Disponível em:

<https://www.sisgeenco.com.br/anais/endhas/2021/arquivos/ED05744099980-01.pdf>.

Acesso em: 03 Nov. 2024.

GRUPO AGRO BRASIL. Biofiltro reaproveita água doméstica para produção de alimentos e forragem. [S. l.], 11 Ago. 2022. Disponível em: <https://www.grupoagrobrasil.com.br/conteudo/biofiltro-reaproveita-agua-domestica-para-producao-de-alimentos-e-forragem.html>. Acesso em: 09 Abr. 2025.

IRINA BILETSKA. Como funciona um banheiro seco, sistema alternativo de saneamento. 17 Out. 2018. ArchDaily Brasil, ISSN 0719-8906. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/904009/como-funciona-um-banheiros-seco-sistema-alternativo-de-saneamento>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

Kropf, B.; Schmid, E.; Mitter, H. Multi-step cognitive mapping of perceived nexus relationships in the Seewinkel region in Austria. *Environmental Science & Policy*, v. 124, p. 604-615, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.004>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

Lal, R. Research and Development Priorities in Water Security. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj15.0046>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

MACHADO, G. C. X. M. P.; MACIEL, T. M. de F. B.; THIOLENT, M. Uma abordagem integral para saneamento ecológico em comunidades tradicionais e rurais. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, n. 4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.08242019>. Acesso em: 03 Abr. 2025.

MAIS AMBIENTE. Biodigestores. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.maisambiente.eco.br/biodigestores>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

MARES GUIA, A. P. de O.; VEIGA, J. B. da; LUDOVINO, R. M. R.; SIMÃO NETO, M.; TOURRAND, J. -F. Caracterização dos sistemas de produção da agricultura familiar de Paragominas-PA: a pecuária e propostas de desenvolvimento. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 55p. Jul. 1999. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/389055>. Acesso em: 10 Fev. 2025.

MARQUES, E. D.; LOGULLO, B.; SANTOS, C. E. D. Destinação de esgoto doméstico em propriedade rural unifamiliar: estudo de caso e proposição de alternativas de tratamento e reaproveitamento energético. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 13–27, 2021. Disponível em: <https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/view/4401>. Acesso em: 27 Mar. 2025.

MAURICIO, C. C.; ARAUJO E. de P. Bioconstrução. Estudo de caso: Projeto e construção da casa ecológica modelo. Brasília, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5102/pic.n2.2016.5539>. Acesso em: 03 Abr. 2025.

MERCADO LIVRE. Kit energia solar rural. [S. l.], [2024?]. Disponível em: <https://lista.mercadolivre.com.br/kit-energia-solar-rural>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

MOTA, V. N. T; SAAVEDRA, O. R.; LIMA, S. Projeto de Habitação Rural Eco-Eficiente com Geração Solar Fotovoltaica Individual. Maio, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Osvaldo-Saavedra-3/publication/303689946_Projeto_de_Habitacao_Rural_Eco-Eficiente_com_Geracao_Solar_Fotovoltaica_Individual/links/574db09208aec988526bbd97/Projeto-de-Habitacao-Rural-Eco-Eficiente-com-Geracao-Solar-Fotovoltaica-Individual.pdf. Acesso em: 01 Abr. 2025.

Mpandeli, S.; Naidoo, D.; Mabhaudhi, T.; Nhemachena, C.; Nhamo, L.; Liphadzi, S.; Hlahla, S.; Modi, A. T. Climate Change Adaptation through the Water-EnergyFood Nexus in Southern Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2306, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph15102306>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

NASCIMENTO, Ana Claudeise Silva do. Tecnologia social para qualidade de vida em territórios de conservação. Reservas de desenvolvimento sustentável Mamirauá e Amanã Amazonas. Orientadora: Maria José da Silva Aquino Teisserenc. 2016. 280 f. Tese (Doutorado em Sociologia) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Belém, 2016. Disponível

em:<http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/14712>. Acesso em: 03 Nov. 2024.

NEOSOLAR. Bombas Solares - Bombeamento de água com Energia Solar. 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/bombas-solares-bombeamento-de-agua-com-energia-solar>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

NEVES, K.; XIMENES, T.; MARTINEZ, G. B.; MORINI, A. C.; MINERVINO, A. H. H.; VALE, W. G. A pecuária na Amazônia: a busca por um modelo sustentável. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1027144/a-pecuaria-na-amazonia-a-busca-por-um-modelo-sustentavel>. Acesso em: 10 Fev. 2025.

NICÁCIO, E. P. da S. et al. Fossa séptica biodigestora: uma pesquisa sobre a efetividade dessa tecnologia social para tratamento de efluentes do esgoto sanitário residencial em zonas rurais. *Congresso sobre Resíduos Sólidos – CONRESOL, 7.*, Curitiba, Maio de 2024. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.I-030>. Acesso em: 03 abr. 2025.

OLIVEIRA, V. P. de; LIMA, M. D. R.; MARTINS, W. B. R. Use of morphometry in the arborization of Paragominas city, Pará, Brazil, with *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae). *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 12, n. 3, p. 213 - 223, julho - setembro, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i3.4975>. Acesso em: 11 Fev. 2025.

PARA TERRA BOA. Amazônia enfrenta desafios para traçar plano de levar energia elétrica para 990 mil pessoas. 04 Mai. 2023. Disponível em: <https://www.paraterraboa.com/meio-ambiente/amazonia-enfrenta-desafios-para-tracar-plano-de-levar-energia-eletrica-para-990-mil-pessoas/>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

PEREIRA, MIREIA A. B. et al. Eficiência de fossa séptica biodigestora no tratamento de esgoto doméstico no assentamento Vale Verde, Tocantins. v. 12 p. 7-14, Mar. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327142429_Eficiencia_de_fossa_septica_b

iodigestora_no_tratamento_de_esgoto_domestico_no_assentamento_Vale_Verde_Tocantins_Efficiency_of_biodigester_septic_tank_in_the_treatment_of_domestic_sewage_in_Vale_Verde_. Acesso em: 03 Abr. 2025.

PINTO, A.; AMARAL, P.; JR, C. S.; VERÍSSIMO, A.; SALOMÃO, R.; GOMES, G.; BALIEIRO, C. Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), 2009. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/diagnostico-socioeconomico-e-florestal-do-municipio-de-paragominas/>. Acesso em: 07/06/2025.

Prefeitura de Campinas. Plano Local de Ação Climática: Campinas/ SP. 2024.

Disponível em:

https://portalapi.campinas.sp.gov.br/sites/default/files/secretarias/arquivosavulsos/142/2024/06/27-084218/PLAC_Campinas_Padr%C3%A3o.pdf. Acesso em: Jan. 2025.

RAR ENERGIA. Planejando um sistema elétrico solar doméstico. [S. l.], 24 nov. 2022. Disponível em: <https://rarenergia.com.br/planejando-um-sistema-eletrico-solar-domestico/>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

RASUL, G.; SHARMA, B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. *Climate Policy*, v. 16, n. 6, p. 682-702, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1029865>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

RIBEIRO, Gustavo et al.. PLATAFORMA DE BENCHMARKING PARA ANÁLISE DE INDICADORES AMBIENTAIS VISANDO A SEGURANÇA ALIMENTAR, HÍDRICA E ENERGÉTICA NA ÁREA RURAL DA BACIA DO RIBEIRÃO DAS LAJES - RJ.. In: Anais do II SUSTENTARE e V WIPIS - Workshop Internacional sobre Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos. Anais...Campinas(SP) PUC-CAMPINAS, 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1168079>. Acesso em: 03 Nov. 2024.

Roo, A.; Trichakis, I.; Bisselink, B.; Gelati, E.; Pistocchi, A.; Gawlik, B. The Water-Energy-Food-Ecosystem Nexus in the Mediterranean: Current Issues and Future Challenges. *Front. Clim.* 3:782553, 2021. doi: 10.3389/fclim.2021.782553.

SANTOS, A. S.; SILVA, E. D.; MARINI, F. S.; SILVA, M. J. R.; FRANCISCO, P. S.; VIEIRA, T. T.; CURADO, F. F. Rede de bancos de sementes comunitários como estratégia para conservação da agrobiodiversidade no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2012, Belém. Anais [...]. Belém: Embrapa, 2012. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/946247?locale=pt_BR. Acesso em: 04 Mai 2025.

SANTOS, C. E. do N. H. dos; RAVENA, N.; COSTA, D. de M.; PIMENTEL, C. A. C.; MACHADO, N. N. Water-Energy-Food Nexus e os ODS na Amazônia Paraense. In: Congresso da Universidade Federal do Pará, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/i-simposio-de-meio-ambiente-e-tecnologias-sustentaveis-na-amazonia-366594/784779-WATER-ENERGY-FOOD-NEXUS-E-OS-ODS-NA-AMAZONIA-PARAENSE>. Acesso em: 01 Mai. 2025.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Tecnologias sociais: como os negócios podem transformar comunidades. Cuiabá, 1 v., 2017. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/AP/Anexos/Tecnologias-Sociais-final.pdf>. Acesso em: 03 Nov. 2024.

SEMENTE DAS ARTES. Vida simples: Banheiro seco. 11 Jun. 2020. Disponível em: <https://www.sementedasartes.com.br/2020/06/vida-simples-banheiro-seco.html>. Acesso em: 04 Mai. 2025.

SENNA, F. S.; SILVA, B. M. Fossa séptica biodigestora. n. 8, Jul. 2017. Disponível em: <https://ctazm.org.br/bibliotecas/fossa-septica-biodigestora-321.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SILVA, E. D.; SILVA, A. E. O.; MUNIZ, E. L. S.; OLIVEIRA, J.; SANTOS, A. Sementes da Paixão: uma leitura da Rede de Bancos Comunitários de Sementes no Território da Borborema. *Cadernos de Agroecologia*, v. 13, n. 1, 2018. Disponível

em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/941>. Acesso em: 03 Abr. 2025.

SILVA, G. A. da; ANDRADE, L. M. S. de; MAIA, C. Construção coletiva do conhecimento empírico: práticas de bioconstrução no Assentamento Pequeno William. In: Encontro latino Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades sustentáveis, 3., 2019. Anais [...]. [S. l.], 2019. p. 201–211. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2733>. Acesso em: 03 Abr. 2025.

SILVA, L. C.; PICANÇO, A. P. Visão geral sobre as tecnologias sustentáveis do saneamento rural no tratamento de esgotos sanitários no Brasil entre 2008 e 2018. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 14, n. 3, p. 1444–1462, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.70540>. Acesso em: 03 abr. 2025.

SILVA, W. T. L. de et al. 20 anos do Saneamento Rural na Embrapa Instrumentação: do Básico ao Ambiental. São Carlos: Embrapa Instrumentação, Dez. 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229894/1/DOC72-2021.pdf>. Acesso em: 12 Dez. 2024.

TAGOMORI, I. S.; HARMSSEN, M.; AWAIS, M.; BYERS, E.; DAIIOGLOU, V.; DOELMAN, J.; VINCA, A.; RIAHI, K.; VAN VUUREN, D. P. Climate policy and the SDGs agenda: how does near-term action on nexus SDGs influence the achievement of long- term climate goals?. *Environ. Res. Lett.*, v. 19, n.5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad3973>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

TONETTI, Adriano Luiz et al. Figura 1 – Esquema da Fossa Séptica Biodigestora (FSB). In: FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles et al. Fossa séptica biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. *Revista DAE*, São Paulo, v. 67, n. 220, p. 102-117, nov. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-da-Fossa-Septica-Biodigestora-FSB-Fonte-Tonetti-et-al-2018_fig1_336820115. Acesso em: 04 Mai. 2025.

TORRES, C.; GITAU, M. W.; LARA-BORRERO, J.; PAREDES-CUERVO, D.; DAHER, B. Urban FEW Nexus Model for the Otun River Watershed. *Water*, 16(23), 3405, Nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16233405>. Acesso em: 23 Abr. 2025.

VIANA, I. L. B.; CASTRO, D. M. de; BATISTA, J. C. M.; SOUSA, J. M. de; SOUSA, L. V. F. de. Banheiro seco como alternativa sanitária e ecológica: levantamento das implementações no Brasil. *Meio Ambiente (Brasil)*, v. 2, n. 4, p. 84–104, 2020. Disponível em: <https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/74>. Acesso em: 27 Mar. 2025.

VIANA, M. P.; DE SOUZA, A. A. A.; NASCIMENTO, L. V. Gestão de Águas em Condomínio Residencial em Campina Grande: diagnóstico e intervenção para melhor utilização, captação e reuso. *Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo*, v. 8, n. 1, p. 59-76, set. 2019. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2019.v8i1.3274>. Acesso em: 03 Abr. 2025.