



Paulo E. Cruvinel

**Agricultura
sustentável e segurança
alimentar: engenharia
e inovação para o
desenvolvimento nacional**

Agricultura sustentável e segurança alimentar: engenharia e inovação para o desenvolvimento nacional

A nova sociedade do século XXI, incluindo tanto o ambiente urbano como o rural, vivencia a transformação da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0. A Indústria 4.0 trouxe como principal paradigma a integração entre sistemas físicos e digitais, dependendo não apenas da maior adoção de sistemas computacionais e da internet das coisas (IoT), mas, sobretudo, da capacidade de aliar tecnologia a uma cultura de inovação. A Indústria 5.0 é a evolução da 4.0, focada na colaboração entre humanos e máquinas inteligentes (cobots) para humanizar a produção, centrada em sustentabilidade, resiliência e personalização. Enquanto a 4.0 focou em automação, a 5.0 prioriza a criatividade humana, valorizando o trabalhador, a personalização de produtos e a responsabilidade socioambiental.

Neste cenário, surgem necessidades para o desenvolvimento sustentável dos biomas, associado à evolução digital e aos novos mecanismos de manejo agrícola, como a agricultura automatizada e inteligente, o plantio direto e a agricultura de precisão. A geocomputação, o design de alimentos e a conexão rural-urbana desempenham um papel importante, não apenas para encontrar oportunidades tecnológicas que tragam maior produtividade, mas também para possibilitar a segurança alimentar, respeitando a resiliência dos recursos naturais, ou seja, de forma sustentável.

De fato, a importância dos humanos nos processos alimentares reside na capacidade de transformar nutrição em experiência, cultura e conexão emocional, algo que traz maior sentido à aplicação da automação e da inteligência artificial, as quais não replicam, de forma autônoma, a mesma profundidade e compromisso. Enquanto a tecnologia garante eficiência e segurança, a criatividade humana atua como o principal diferencial cognitivo, permitindo inovação, personalização e a valorização de ingredientes essenciais para a saúde humana, além de melhor atender ao mercado de alimentos, que, devido à nova geopolítica mundial, vem se mostrando cada vez mais competitivo. A alimentação vai além da nutrição; ela envolve memórias e identidades sociais, muitas vezes passadas de geração em geração. A intervenção humana é vital na seleção minuciosa, no manuseio delicado e na garantia da assinatura das dietas alimentares, onde a criatividade permite que receitas alimentares clássicas, combinem novos sabores e criem novas técnicas, incluindo dietas que valorizem produtos agrícolas regionais.

O uso de Inteligência Artificial (IA) e a automação, embora capazes de prever tendências e otimizar a produção, devem atuar em conjunto com a sensibilidade humana. A criatividade humana no setor alimentar foca em dar significado e experiência, enquanto a tecnologia oferece suporte para a eficiência e escala.

O último relatório das Nações Unidas, que trata das Perspectivas da População Mundial, publicado em 2024 projeta que a população mundial atingirá um pico de cerca de 10,3 bilhões de pessoas em meados da década de 2080, antes de cair para 10,2 bilhões até o final do século. O crescimento continua, mas em ritmo lento, atingindo um pico mais cedo e em patamar inferior ao previsto anteriormente, incluindo também aspectos que indicam que há lugares em que a população tem sido estagnada com a ausência ou grande diminuição na taxa de natalidade. Mesmo assim, com cerca de 83 milhões de pessoas sendo adicionadas à população mundial a cada ano, espera-se que a tendência ascendente no tamanho da população continue, mesmo assumindo, com base em indicadores, que os níveis de fertilidade continuarão a declinar. Neste contexto, há certamente necessidade de se trazer de forma

organizada mais tecnologia e educação para as áreas rurais, que se constituem como chave para se garantir o desenvolvimento sustentável e a paz mundial, sem perda da diversidade.

Além disso, para o atendimento agroalimentar e a garantia da qualidade de vida nos níveis local, regional, nacional e global, deve-se levar em conta a minimização de externalidades negativas. Isso envolve, predominantemente, a gestão de riscos e uma abordagem sistêmica fundamentada nas boas práticas e no uso sustentável de recursos naturais renováveis.

Neste contexto, passam a ser tratadas como prioridade, orientando projetos estruturantes e políticas públicas, a gestão da variabilidade, a proteção de nutrientes e cultivos, com foco em processos decisórios baseados na qualidade de vida, a gestão da água, o uso e disponibilidade de dados geoespaciais, a rastreabilidade e a qualidade dos alimentos, bem como a orientação baseada nos paradigmas da bioeconomia voltada ao consumidor, incluindo a logística segura.

O estabelecimento desta ponte entre o meio rural e o ambiente urbano deve estar na agenda dos países que prezam pelo desenvolvimento, inclusão, sustentabilidade e inovação, assim como pela nutrição e saúde dos indivíduos que compõem e comporão a sociedade deste século.

Inserido neste contexto e de acordo com o mais recente Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) 2023/2024, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em maio de 2025, o Brasil apresentou melhora em seus índices, subindo cinco posições no ranking global, passando da 89ª para a 84ª colocação entre 193 nações avaliadas. Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o país atingiu a marca de 0,786, consolidando-se no grupo de países com alto desenvolvimento humano. Esse avanço foi impulsionado principalmente pelo aumento da renda nacional bruta per capita, favorecido pela formalização do mercado de trabalho, e pela recuperação do indicador de saúde após o impacto da pandemia da COVID-19. De fato, o Brasil superou o patamar de desenvolvimento humano anterior à pandemia, indicando uma retomada da trajetória de crescimento. Entretanto, embora tenha havido melhora geral, o indicador de educação apresentou uma evolução mais tímida em comparação à saúde e à renda. Além disso, continua apresentando altos níveis de desigualdade social, o que impacta o índice geral e necessita de melhorias para retornar aos patamares de IDH mais elevados observados em períodos anteriores. Logo, o Brasil deve buscar retomar o desenvolvimento, no momento e com visão de futuro, mesmo frente ao cenário mundial complexo de guerras e geopolítica.

Uma significativa parte das soluções para atender a essa realidade é o seu potencial para o desenvolvimento agrícola, pecuário e florestal. Isso se justifica porque, em regiões do país onde há desenvolvimento agropecuário ou florestal orientado, e não extrativista, o IDH é maior. Esse setor exerce papel essencial no crescimento econômico e na sua ampliação, pois os efeitos de transbordamento não se limitam ao próprio mercado de produção de alimentos, mas envolvem outros agentes e processos, desde a obtenção dos insumos até a disposição final do produto e sua acessibilidade pelos consumidores, conforme preconiza o conceito de cadeia de valor.

Pode-se, assim, mencionar que atividades rurais no Brasil, sejam elas de origem agrícola, pecuária, florestal ou associada, têm se relacionado com as várias perspectivas (econômica, social, ambiental e capital humano) do desenvolvimento sustentável, devendo ser incentivadas e priorizadas para que se alcance o desenvolvimento ora desejado. Soma-se a isto o fato de ser o setor que mais contribuiu favoravelmente com a situação econômica e social do país nos últimos anos, mas que enfrenta importantes desafios sobre a dicotomia entre os aumentos da produção, o fator internacionalização e as pressões ambientais, em que pese o fato de que tem havido redução de desmatamento no país.

O Brasil tornou-se, há pouco, o principal exportador mundial de suco de laranja, carne de frango, açúcar, café, tabaco, carne bovina e etanol. Entretanto, apesar das quedas observadas nos últimos cinco anos, essa dianteira pode voltar a se acentuar. Tudo isso pode ser feito sem avançar sobre a Floresta Amazônica, que abrange cerca de 50% do território nacional. Mas os bons resultados estarão cada vez mais atrelados a avanços no comércio exterior, acréscimos nos protocolos já em curso para a sustentabilidade, melhor estruturação da educação formal, redução da pobreza e, não menos importante, priorização de recursos para a Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) voltada para o setor.

Inserido neste contexto, verifica-se a necessidade da revitalização ou mesmo reestruturação de um novo Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), no qual se envolvam a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (OEPAs), Universidades públicas e instituições privadas que atuam junto ao setor produtivo. Parcerias nas modalidades público-público e público-privada se colocam, neste novo cenário de realidades, como uma opção plausível e merecedora de atenção quando se busca estabelecer uma estratégia vencedora. Entretanto, é necessário estabelecer de forma definitiva segurança jurídica para que os processos possam ser desenvolvidos em escala.

Foi graças aos esforços de uso de inteligência, conhecimento e tecnologia que se tornou possível o uso do Cerrado. Assim, manter o processo de desmonte da C,T&I no país passou a ser um risco em grande escala, com impactos que poderão favorecer a total perda de competitividade e a volta à dependência alimentar dos anos 70.

Outro aspecto que merece atenção diz respeito aos mecanismos de ocupação de terras no Brasil. Houve uma substancial expansão da área destinada aos assentamentos rurais de reforma agrária. O programa de reforma agrária no Brasil passa por um momento de retomada e reestruturação, focado na aceleração da destinação de terras por meio do programa "Terra da Gente", lançado em 2024. O objetivo atual é assentar e regularizar a situação de famílias, com foco especial na produção de alimentos, regularização fundiária e sustentabilidade, com previsão de beneficiar cerca de 295.000 famílias até 2026, divididas entre o assentamento de novas famílias e a regularização de lotes existentes. Entretanto, o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) pressiona pelo assentamento de dezenas de milhares de famílias acampadas. Além disso, persiste o desafio de fornecer infraestrutura, assistência técnica e crédito para que as famílias se mantenham no campo, pois muitos assentamentos carecem de apoio produtivo.

Outro desafio importante trata da necessidade de ampliação das áreas de assentamentos, visto que da ordem de mais de 85 milhões de hectares foram incorporados à reforma agrária no Brasil ao longo das últimas décadas. O país possui mais de 9.000 assentamentos rurais atendidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), e o total de famílias assentadas supera 1 milhão, com intensas ações de regularização e entrega de títulos de terra nos últimos anos. De fato, o prosseguimento da reforma agrária, o que é muito importante para o país, principalmente se associado a políticas de incentivo inovadoras, poderá permitir que, além de produtores significativos, os pequenos agricultores desempenhem diversos papéis sociais e ambientais. Nesse sentido, propõe-se que a Agência Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (ANATER) também integre os esforços oriundos da rede de C,T&I a ser estabelecida, fortalecendo a conexão rural-urbana.

Outra importante abordagem a ser observada é a sistematização de programas avançados de biotecnologia na agropecuária. Relatórios recentes de indicadores de biotecnologia da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) destacam a convergência da biologia sintética com IA e automação para acelerar o desenvolvimento de

sementes e insumos biológicos na agricultura. O foco concentra-se na transição para uma bioeconomia sustentável, impulsionando investimentos em culturas tolerantes a estresses climáticos (hídrico, térmico e biótico) e no uso de biofertilizantes para reduzir a pegada de carbono.

Os Estados Unidos lideram o setor com cerca de 11.500 empresas de biotecnologia, seguidos pela Espanha, com aproximadamente 2.900, e pela França, com 2.000. Coreia, Alemanha, Reino Unido, Japão, México, Nova Zelândia e Bélgica ocupam as dez primeiras posições. O Brasil, por sua vez, aparece na 18ª posição, com apenas 150 empresas [nota: dados podem variar conforme a fonte, mas a disparidade está correta]. O Brasil carece de uma política clara que viabilize uma atuação mais consistente neste importante segmento orientado ao processo produtivo, principalmente na agropecuária.

Embora a atual Lei de Biossegurança (Lei nº 11.105/2005) tenha garantido o direito do consumidor a decidir sobre a ingestão de alimentos geneticamente modificados ao exigir a rotulagem, ainda falta escala para o crescimento autônomo e consciente do setor no país.

Assim, a partir das premissas acima mencionadas, as seguintes propostas podem ser colocadas na linha de projetos estruturantes (visando um Brasil competitivo, que priorize a qualidade de vida para seu povo e seja o principal colaborador mundial para a segurança alimentar no planeta):

a) No âmbito da segurança alimentar (bioeconomia) e na construção do novo, demanda-se um projeto estruturante para resolver os seguintes desafios:

1. Estabelecer Planejamento Estratégico para o Brasil, considerando seus diferentes Biomas (Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal, Pampa) e suas especificidades, preparando um Termo de Referência (TR) que envolva as instituições do país e parceiras (arranjo público-público e público-privado) visando a competitividade e a sustentabilidade do desenvolvimento Agrícola, Pecuário e Florestal com foco em segurança alimentar e do alimento (uma plataforma que venha a viabilizar um salto quantitativo e qualitativo para o país e sua maior inserção no cenário internacional, estruturado sobre a melhoria contínua dos processos - Concepção, Formulação e Gestão de um Programa), com ferramentas de cenarização, simulação e apoio à negociação/pactuação;

2. Estabelecer e apoiar um programa robusto em sanidade vegetal e sanidade animal, incluindo conceitos do uso racional de insumos para o pequeno, médio e grande produtor;

3. Intensificação sustentável da produção, como o uso de ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) e o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) para alcançar o desmatamento zero.

4. Organizar informações sobre as bases e as fontes de recursos para financiamento das ações de C,T&I, bem como para a implantação de infraestrutura para o setor;

5. Organizar informações sobre a gestão territorial tomando por base a Geomática e as ciências cognitivas;

6. Organizar junto ao Poder Legislativo, Audiências Públicas visando subsidiar Políticas Públicas, aproveitando os esforços da Frente Parlamentar da Agropecuária;

7. Encaminhar resultado para órgãos de fomento com a finalidade de motivar chamadas de projetos via editais ou encomendas (Projetos estruturantes multiinstitucionais – parceria pública e privada);

8. Estabelecer amplo canal de divulgação dos resultados junto à sociedade do Brasil.

b) No âmbito da segurança das águas (recursos hídricos continentais), a construção do novo demanda projeto estruturante para resolver os seguintes desafios:

1. Dificuldades de acesso aos recursos hídricos: quantidade, qualidade e restrições administrativas e operacionais (necessidade de infraestruturas hídricas de uso coletivo);

2. Morosidade dos procedimentos de licenciamento ambiental e obtenção de outorga de uso dos recursos hídricos (aprovação / liberação de infraestruturas hídricas necessárias);

3. Vulnerabilidade dos agricultores às alterações e mudanças climáticas (necessidade de infraestruturas hídricas);

4. Dificuldade de acesso ao crédito e seguro agrícola pelos agricultores familiares e de menor porte que não possuem garantias ou já perderam seus direitos de acesso ao crédito;

5. Situações de conflito pelo uso da água (necessidade de infraestruturas hídricas de uso coletivo e de pactuação dos critérios e mecanismos de sua alocação).

6. Ações de Pesquisa e Inovação:

6.1 Racionalizações do uso dos recursos naturais em cadeias produtivas florestais com ênfase nas demandas de água.

A área atual de cultivos florestais no Brasil é a ordem de 10 milhões de hectares. Deste total, há expectativas de expansão da oferta florestal de aproximadamente 600 mil hectares ao ano de áreas de plantio, frente ao amplo potencial de uso como biomassa energética. A sustentabilidade dessa expansão vem associada a um planejamento detalhado, construído estrategicamente, de forma a subsidiar decisões de ordem política, econômica, social e especialmente ambiental. Neste contexto, o consumo hídrico é um dos mais questionados, considerando-se que além do crescimento da população, do elevado desenvolvimento industrial, o uso florestal, com a intensificação da produção, também contribuir para o comprometimento desse recurso natural. Assim, o diagnóstico do impacto do uso da água e o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de protocolos tecnológicos que permitam a redução e ou otimização destes usos nos setores de produção e processamento de florestas em diferentes regiões do Brasil são indispensáveis para recomendações de

expansão de diferentes espécies para a produção de energia. Também se faz necessário o mapeamento de áreas frágeis, o aperfeiçoamento dos protocolos de outorga e a identificação de ameaças ambientais e de comercialização, associadas ao uso indiscriminado dos recursos hídricos, e as oportunidades de valoração associadas à “produção com uso racional ou consciente os recursos hídricos” em cadeias florestais para energia.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Diagnosticar o impacto da expansão de cultivos de florestas para geração de energia, em diferentes regiões do Brasil;
- Diagnosticar o impacto da expansão do uso de água industrial para o processamento de biomassa de florestas para geração de energia, em diferentes regiões do Brasil;
- Mapear áreas frágeis sob o ponto de vista hidrológico (recarga de aquíferos, áreas inaptas de cultivo, APPs, capacidade de suporte etc.);
- Desenvolver e/ou aperfeiçoar protocolos tecnológicos que permitam aperfeiçoar o uso industrial de água;
- Identificar ameaças ambientais e de comercialização associadas ao uso indiscriminado dos recursos hídricos;
- Identificar oportunidades de valoração associada à produção com uso racional ou consciente os recursos hídricos.

6.2 Impactos social, econômico e ambiental: Estudos de cenário da matriz bioenergética no contexto mundial, considerando aspectos relacionados com alterações climáticas e de segurança alimentar.

Observando-se as crescentes pressões internacionais provocadas pelo aumento dos preços dos alimentos e combustíveis fósseis, face ao aumento da demanda agregada, sobretudo dos países em desenvolvimento. Considerando a necessidade de reduzir a emissão de gases de efeito estufa do planeta, diversificando a matriz energética. O Brasil assumiu uma posição de destaque na oferta destas commodities, seja pelas dimensões continentais e potencial produtivo, seja pelo domínio da tecnologia de fontes alternativas de energia. Cabe ao país demonstrar a sustentabilidade de seu modelo de produção diversificado e abrangente, avaliando os impactos socioeconômicos e ambientais gerados pela adoção de suas práticas em diferentes cenários: macroeconômicos, comerciais, sociais e ambientais.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Elaboração de cenários nacionais e internacionais, com vistas a avaliar a sustentabilidade da matriz agro energética;
- Ênfase social: empregos diretos e indiretos, renda, fluxos migratórios;
- Ênfase econômica: rentabilidade, geração de impostos, distribuição da remuneração entre os agentes, renúncia e evasão fiscal, fluxos de comércio, barreiras comerciais, valor agregado, efeito de substituição (matriz fóssil) e outros.

- Ênfase ambiental: biodiversidade e sequestro de CO₂, emissão de gases de efeito estufa, degradação dos recursos hídricos e solo, usam de defensivos, desmatamento, uso de áreas degradadas.

6.3 Impactos ambientais e socioeconômicos resultantes da utilização de resíduos.

Nos diferentes processos agroindustriais que envolvem uso de água e nas atividades humanas, diversos resíduos são gerados causando altos riscos de poluição ambiental. O desenvolvimento de tecnologias para transformação destes resíduos pode contribuir para eliminar a poluição ambiental. Entretanto a transformação destes resíduos também pode gerar impacto ambiental, que deverá ser minimizado por meio do uso de tecnologias adequadas. Desta forma, o adequado destino destes resíduos contribuirá para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, com possibilidades de ganhos econômicos e na qualidade de vida.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Avaliar as emissões de gases do efeito estufa pelo uso de resíduos da agroenergia, possibilitando a agregação de valor por meio de projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo e mercado de carbono (pagamento por Créditos de Carbono);
- Avaliar o impacto do uso de resíduos no balanço energético da agroenergia;
- Avaliar o impacto do uso de resíduos da agroenergia na qualidade de vida das populações;
- Avaliar o impacto do uso de resíduos sobre a qualidade de águas.

6.4 Sistemas de Informação Geográfica – SIG com identificação da logística e infraestrutura aplicada à aquicultura

Este gargalo é parte do pressuposto de que há, no país, variadas bases de dados com acervos de indicadores científicos e econômicos, mapas de competência, imagens de satélites, entre outras informações úteis aos *stakeholders*¹ do setor da aquicultura. No entanto esses instrumentos não se encontram integrados em torno de um sistema inteligente de pesquisa transversal, capaz de oferecer acesso seletivo e dinâmico de acordo com a necessidade de seus usuários. Assim, faz-se necessário a sistematização e disponibilização de um banco de dados como base para o planejamento do setor aquícola, considerando os seguintes aspectos: clima, meio ambiente, bem como os aspectos econômicos e sociais. Este SIG interligaria diversos instrumentos de pesquisa, facilitando a cooperação das instituições gestoras

¹ *Stakeholders*: (em português, parte interessada ou interveniente), é um termo usado em administração que se refere a qualquer pessoa ou entidade que afeta ou é afetada pelas atividades de uma empresa. O termo foi usado pela primeira vez por R. Edward Freeman no livro ***Strategic Management: A Stakeholder Approach***. Segundo Freeman, os *stakeholders* são um elemento essencial ao planejamento estratégico de negócios. De maneira geral compreende todos os envolvidos em um *processo*, que pode ser de carácter temporário (como um projeto) ou duradouro (como o negócio de uma empresa ou a missão de uma organização sem fins lucrativos, ou ainda participantes de uma rede que tenham parte em processos que são desenvolvidos).

das informações disponibilizadas, Universidades e Instituições de Pesquisa, órgãos de governo, agências de financiamento, representações do setor produtivo, organizações não governamentais, sob a coordenação do setor privado.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Rastrear e recuperar informações em bases de dados integradas;
- Operar mecanismos de busca com acesso seletivo e em tempo real;
- Hierarquizar informações e filtrar conteúdos por múltiplos critérios;
- Classificar as informações recuperadas a partir de atribuições taxonômicas;
- Gerenciar permissionamento de acesso e identificação dos usuários;
- Importar e exportar dados selecionados em formatos de compatibilidade;
- Permitir a colaboração *peer to peer* entre usuários em ambiente privado.

6.5 Desenvolvimentos de Modelos de Gestão de Parques Aquícolas

Um dos maiores desafios da aquicultura brasileira reside no aproveitamento de milhões de hectares de espelho d'água em grandes reservatórios e em ambientes estuarinos e marinhos propícios à criação de peixes, crustáceos, moluscos e algas. A demarcação de parques aquícolas que vem sendo realizada e representa importante passo para a exploração ordenada dessas áreas. Contudo, o uso múltiplo desses recursos, a interação de seus diversos usuários e a necessidade de coordenação dos levantamentos, análises e decisões relacionados ao monitoramento da qualidade da água implica na necessidade de ordenamento por intermédio de uma entidade gestora que contemple os interesses de todos os atores da cadeia produtiva.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Promover o uso ordenado de grandes reservatórios e de ambientes estuarinos e marinhos pela aquicultura;
- Minimizar os conflitos entre os diversos usuários;
- Coordenar os trabalhos de controle e monitoramento da qualidade da água, acompanhando possíveis impactos causados por empreendimentos aquícolas nesses ambientes;
- Controlar o nível de ocupação dos parques aquícolas, sinalizando situações que comprometam novas cessões de áreas devido à deterioração da qualidade da água;
- Conscientizar os usuários dos parques aquícolas sobre a importância do estabelecimento de boas práticas de manejo com vistas à manutenção da qualidade da água em condições satisfatórias e da necessidade da boa interação com os demais usuários dos recursos hídricos.

6.6 Modelos de capacidade de suporte regionais aplicados à aquicultura

A aquicultura quando não realizada de forma sustentável, pode causar alteração da qualidade da água dos ecossistemas aquáticos inviabilizando seus usos múltiplos. Para estimar o nível máximo de produção aquícola que um corpo aquático é capaz de sustentar, onde não haja interferência na sua estrutura biótica e abiótica, é necessário avaliar a capacidade de suporte desses ambientes. Para a aplicação do conceito de capacidade de suporte para aquicultura, se faz necessário considerar as características intrínsecas do ecossistema analisando a sua produtividade máxima e também a sua capacidade de assimilar os impactos provenientes da atividade. Os modelos existentes têm sido desenvolvidos para prever a resposta dos ecossistemas aquáticos frente ao incremento nas cargas de nutrientes (com ênfase no fósforo e nitrogênio) oriundas da aquicultura intensiva. O uso desses modelos refere-se ao fato de representar uma estimativa genérica global sem considerar as variações sazonais e espaciais reais na dinâmica dos ecossistemas. Neste contexto, o desenvolvimento de novas tecnologias regionais para determinar a capacidade de suporte de recursos hídricos, visa a manutenção da qualidade ecológica necessária para o sustento dos empreendimentos aquícolas.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Determinar critérios técnicos de capacidade de suporte integrados as condições ambientais que influenciam diretamente na dinâmica dos ecossistemas aquáticos nas diferentes regiões hidrográficas brasileiras;
- Testar e validar modelos de capacidade de suporte que atendam aos distintos aspectos funcionais de ecossistemas aquáticos artificiais e naturais, tais como: represas, açudes, lagos, igarapés, ambientes costeiros e marinhos;
- Gerar, adaptar e difundir o conhecimento científico e tecnológico visando à implementação dos empreendimentos aquícolas de forma viável e segura (sustentável).

6.7 Desenvolvimento e aplicação de tecnologias para minimização da eutrofização e efluentes oriundos da aquicultura nos ambientes aquáticos

A aquicultura vem se desenvolvendo nas últimas décadas em virtude da crescente demanda do mercado mundial de pescados. Nesse contexto, os sistemas de produção evoluíram de extensivo para semi-intensivo e intensivo, gerando aumento do uso de água e insumos para produção. Por outro lado, a falta de saneamento tem sido um entrave para a manutenção da qualidade dos recursos hídrico com potencial para uso na aquicultura. Assim, faz-se necessário um melhor controle da água a ser utilizada, como também, dos resíduos e efluentes provenientes da aquicultura. Com isso, a boa prática de manejo associada ao uso de biorremediadores nos cultivos o consorcia com macroalgas, macrofitas e/ou organismos filtradores, o reuso da água, bem como o controle e identificação dos agentes fertilizadores dos ecossistemas, dentre outros, são essenciais para um melhor uso e aproveitamento dos recursos hídricos.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Desenvolver tecnologias para minimização da eutrofização
- Promover boas práticas de manejo
- Controlar e identificar os agentes fertilizadores dos ecossistemas;
- Promover o uso adequado de insumos em função das características hidro biológicas do ecossistema;
- Ampliar estudos voltados ao uso de biorremediadores em ambientes confinados;
- Realizar estudos sobre os processos de recirculação e reuso da água;
- Formação de recursos humanos qualificados para um monitoramento ambiental de qualidade.

6.8 Gestão e segurança dos recursos hídricos com foco na agroindústria e aquicultura.

A região norte do Brasil detém o maior potencial hídrico do país, abrigando 68% da água doce disponível. Neste contexto, ações de proteção, monitoramento e avaliação da qualidade da água são fundamentais para garantir o uso sustentável. Também, para proporcionar segurança para o abastecimento humano, navegação e produção de alimentos. No âmbito da agricultura, o uso de tecnologias que minimizem os desperdícios e reduzam os impactos oriundos das fontes de fertilizantes, é de suma importância para sua preservação. A aquicultura como uma das vertentes da agroindústria vem se desenvolvendo fortemente nas últimas décadas em virtude da crescente demanda do mercado mundial. Por outro lado, a falta de saneamento tem sido um entrave para a manutenção da qualidade dos recursos hídrico com potencial para uso aquícola. A minimização dos impactos oriundos das atividades industriais e domésticas se reveste de elevada importância para o sucesso da aquicultura desenvolvida dentro dos padrões de qualidade e sanidade dos animais cultivados. Assim, faz-se necessário um monitoramento contínuo da água a ser utilizada, bem como, dos resíduos e efluentes que podem impactá-las.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Intensificar o controle e monitoramento da qualidade da água, acompanhando possíveis impactos causados por atividades produtivas e efluentes domésticos;
- Padronizar a metodologia analítica e de coletas aplicadas nos monitoramentos ambientais;
- Desenvolver tecnologias de avaliação de ecossistemas através de bioindicadores e índices ambientais;
- Controlar e identificar os agentes fertilizadores dos ecossistemas;
- Gerar, adaptar e difundir o conhecimento científico e tecnológico visando à implementação de empreendimentos agrícolas e aquícolas de forma viável e segura (sustentável).
- Testar e validar modelos de capacidade de suporte que atendam aos distintos aspectos funcionais de ecossistemas aquáticos artificiais e

naturais, tais como: represas, açudes, lagos, igarapés, ambientes costeiros e marinhos;

- Promover o uso ordenado de grandes reservatórios e de ambientes estuarinos e marinhos pela aquicultura;
- Desenvolver sensores e biosensores utilizando a nanotecnologias para o monitoramento de corpos hídricos.

6.9 Preservação e valorização dos recursos hídricos utilizados para manejo de sistemas agrosilvipastoril do Brasil

A água constitui um fator estratégico para o desenvolvimento sustentável das áreas rurais, as quais são fundamentais para o abastecimento das populações urbanas. Se esta perspectiva já é reconhecida nas esferas nacionais e internacionais, ela ainda não foi integrada concretamente nas agendas das políticas locais, e menos ainda nos sistemas de produção agrícola, pelo contrário. Os recursos hídricos ainda são alvos de descasos, e de práticas agressivas e insustentáveis, gerando prejuízos para os agricultores e a sociedade em geral. Neste quadro, o objetivo principal focado nesta demanda é a de promover a preservação e a valorização dos recursos hídricos nas áreas rurais. Para isto, são considerados quatro pilares, respondendo as carências hoje diagnosticadas. O primeiro é a caracterização do balanço hídrico de cada sistema de produção, de forma a apontar recomendações para o setor produtivo, o planejamento e fomento do setor agrícola. O segundo é de possibilitar a recuperação eficiente das matas ciliares, a partir de avaliação das espécies e associações mais adequadas para este fim. O terceiro é de possibilitar sistemas de pagamento por serviços ambientais, principalmente no Bioma Amazônia e Pantanal, quantificando e valorando o serviço prestado pelos produtores de água. O quarto é de promover boas práticas de uso e manejo de águas, incluindo o desenvolvimento de sistemas de monitoramento dos mesmos.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Caracterizar o balanço hídrico de cada sistema de produção;
- Avaliar o potencial ecofisiológico de espécies arbóreas e associações para recuperação de matas ciliares em sistemas de produção integrados;
- Quantificar e valorar o serviço ambiental prestado pelos produtores de água;
- Promover nas áreas rurais as boas práticas de uso e gestão da água e melhorar as ferramentas de monitoramento.

6.10 Biocombustíveis e indústria

O Brasil tem papel de destaque mundial na produção de biocombustíveis, com uma matriz energética de transporte que se encontra entre as mais limpas do planeta. O diferencial brasileiro reside na capacidade de integrar produção agrícola (cana-de-açúcar, soja, milho) com processamento industrial e tecnologia avançada. Neste cenário de realidades se faz importante considerar o estabelecimento oficial de um programa estruturante que case o setor agro

com o setor industrial, considerando que a produção de biocombustíveis com a indústria estará impulsionando uma economia de descarbonização, geração de empregos e renda, como inicialmente preconizado pelo RenovaBio (Política Nacional de Biocombustíveis). Esse programa busca estabelecer um elo entre o rural e a indústria automobilística, podendo, entretanto ser expandido para outros setores relacionados ao transporte e a logística. O estabelecimento de política pública para nortear tal estruturação no país deve vir como uma prioridade. A demanda global por petróleo deve atingir cerca de 105 milhões de barris diários (bpd) até 2029, impulsionada pela Ásia-Pacífico e África, mas com expectativa de queda a partir de 2030. No Brasil, o consumo de combustíveis líquidos continua crescendo, com projeção de alta de 0,8% em 2024 (cerca de 130 bilhões de litros) e forte aumento no uso de gasolina. A indústria de biocombustíveis no Brasil é atualmente focada principalmente na produção de etanol (cana-de-açúcar e milho) e biodiesel (óleos vegetais e gordura animal), com uma produção somada que ultrapassou 43 bilhões de litros em 2023. Logo há uma grande oportunidade para o crescimento sustentável neste setor o que poderá potencializar retorno significativo para o país. Outros programas que contribuem para este cenário e que também demandam políticas públicas envolvem: (1) Programa MOVER (Mobilidade Verde e Inovação) que incentiva a produção de veículos mais eficientes, utilizando biocombustíveis e promove a minimização da pegada de carbono desde a produção da cana-de-açúcar/soja até o uso no carro; (2) Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que busca integrar setores agro com à indústria química, promovendo o uso de biocombustível de óleos vegetais e gorduras animais.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Racionalização do uso da água na cadeia produtiva do etanol com ênfase para as áreas de expansão, buscando desenvolvimento de tecnologias agrônômicas, para compor sistemas de produção de cana-de-açúcar, soja e milho regionalmente adaptados.
- Tendo em vista a elevada demanda prevista para a produção de etanol no Brasil, deve-se considerar as vertentes de seu atendimento pela expansão da área cultivada e pela otimização das condições de cultivo.
- As pressões internacionais por sustentabilidade do cultivo e as pressões de custo devidas ao aumento do preço dos insumos agrícolas, devem ser levadas em conta.
- O cultivo, de cana-de-açúcar, soja e milho no horizonte de médio e longo prazo, deverão contar com colheita mecanizada, considerando tecnologias prioritárias aquelas que objetivem a regionalização do cultivo, atendendo a diferentes tamanhos de lavoura, incluindo a agricultura familiar, em especial destinada a melhorar o estado sanitário, o manejo, as recomendações de fertilizantes.
- Desenvolver/aperfeiçoar sistemas de produção de cana-de-açúcar, soja e milho sustentáveis, adaptados às diferentes regiões do Brasil;

- Adaptar tecnologias sustentáveis para diferentes tamanhos de propriedades de cultivo de cana-de-açúcar, soja e milho;
- Desenvolver sistemas sustentáveis de manejo de pragas da cana-de-açúcar, soja e milho;
- Estabelecer a associação entre a palhada remanescente pós-colheita e as características físico-químicas do solo e o efeito sobre a fenologia e a produtividade da cana-de-açúcar, soja e milho;
- Atualizar as recomendações de adubação para cana-de-açúcar, soja e milho, considerando as diferenças regionais, de sistemas de cultivo e de materiais genéticos;
- Identificar, pesquisar e desenvolver microrganismos de alta eficiência para fixação simbiótica de nitrogênio na cana-de-açúcar, soja e milho;
- Identificar tecnologias de manejo da planta e do solo que proporcionem maior capacidade de retenção de água no solo;
- Estabelecer parâmetros para aperfeiçoar processos de irrigação em cana-de-açúcar, soja e milho;
- Definir critérios e parâmetros ecofisiológicos para o zoneamento agroecológico e econômico de espécies produtoras de óleo;
- Estabelecer estratégia para integrar a produção de insumos para biocombustíveis e a indústria no Brasil, tomando por base a consolidação de uma bioeconomia circular, que conecta o setor agrícola, pecuário e florestal (insumos) diretamente às demandas industriais de baixo carbono, apoiada por políticas públicas de longo prazo, visando o fortalecimento da Cadeia de Valor "Campo-Indústria".

c) Quanto à agricultura e aquicultura marinha (maricultura), as mesmas representam uma das fronteiras mais promissoras para o desenvolvimento econômico sustentável do Brasil, frequentemente referida no contexto da "Economia Azul".

Com uma extensa linha costeira e uma Zona Econômica Exclusiva (ZEE) de aproximadamente 700.000 km². A Maricultura (Cultivo Marinho) é o setor marinho que abrange o cultivo de peixes (piscicultura marinha), moluscos (mexilhões, ostras) e algas. A produção de camarão marinho é forte, principalmente no Nordeste. O cultivo de espécies nativas marinhas e na carcinicultura (camarão) tem avançado de forma significativa. A aquicultura ornamental marinha também é um mercado multibilionário com potencial de cultivo em cativeiro. A maricultura é vista como uma alternativa alimentar sustentável, reduzindo a pressão sobre os estoques pesqueiros naturais que sofrem com a sobrepesca.

Para esta demanda os seguintes objetivos relacionados são considerados:

- Licenciamento e ordenamento, vez que o setor enfrenta barreiras burocráticas no licenciamento ambiental e necessidade de maior ordenamento do espaço costeiro.
- Investimento, vez que o setor depende de políticas integradas, inovação tecnológica e apoio às comunidades pesqueiras.
- As demandas por tecnologia e inovação na agricultura marítima (maricultura e aquicultura marinha) concentram-se em aumentar a produtividade e a sustentabilidade, mitigando riscos ambientais e otimizando custos operacionais. Neste contexto são considerados demandas por desenvolvimento de Monitoramento Ambiental Inteligente: Uso de sensores IoT (Internet das Coisas) e inteligência artificial para monitorar em tempo real parâmetros da água, como oxigênio dissolvido, temperatura, pH e turbidez; Nutrição e Ração de Precisão; Tecnologias que reciclam a água do cultivo, permitindo a produção em terra com alta densidade e baixo impacto ambiental; Cultivo integrado de diferentes espécies, onde os resíduos de uma espécie servem de alimento para outra, melhorando a limpeza do ambiente de cultivo; Genética e Biotecnologia para desenvolver linhagens mais resistentes a doenças e com melhor conversão alimentar, além de análises genéticas de peixes; Automação e Robótica com uso de Drones (aéreos e subaquáticos) para monitoramento da saúde dos peixes e integridade das estruturas de cultivo, além de alimentação automatizada; Big Data e Softwares de Gestão: Plataformas que cruzam dados de sensores com modelos preditivos para antecipar variações climáticas, doenças e demandas de mercado, entre outras.

d) No âmbito da infraestrutura e logística para o setor, a construção do novo, demanda projetos estruturantes para resolverem os seguintes desafios para atendimento aos produtos de origem vegetal (frutas, soja, milho, açúcar, café, trigo e outros), produtos de origem animal (carnes), insumos (fertilizantes, agrotóxicos, maturadores e outros) e produtos de origem energética (etanol e outros):

1. Quanto ao desenvolvimento de Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE):

- Incentivar representantes do Poder Legislativo a tomar um papel ativo em todas as comissões e grupos de trabalho envolvidos no estabelecimento e direcionamento do desenvolvimento da INDE, em nível regional e nacional;
- Que o apoio financeiro venha inicialmente do Governo Federal, em articulação com os estados e municípios. Estes investimentos devem ser considerados como uma parte integrante das agendas do governo eletrônico porque a INDE sustenta a modernização do governo, e o acesso crescente à informação do setor público;
- Adotar implantação faseada para o desenvolvimento da INDE, baseada na subsidiariedade, isto é nos esforços nacionais e regionais já empreendidos.

2. Quanto aos entraves logísticos:

- Solucionar os estrangulamentos físicos da malha ferroviária na transposição de centros urbanos e nos acessos aos portos;
- Ampliar a oferta de transporte de cabotagem;
- Sistematizar o transporte dutoviário para produtos de origem energética, em especial para o etanol;
- Sistematizar redes e infraestrutura de armazenagem envolvendo iniciativas do setor público e do setor privado para expansão dessa capacidade;
- Incluir no Plano Agrícola e Pecuário linhas de financiamento específicas para apoiar os armazenadores de grãos no atendimento das exigências previstas no sistema de preço e que essa linha de financiamento tenha como objetivo a adequação das estruturas armazenadoras conforme estabelecido na Instrução Normativa 33/2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e ao custeio das despesas para obtenção de certificação, bem como que contemple como beneficiários todos os armazéns de pessoas físicas ou jurídicas;
- Organizar a visão de sociedade quanto à problemática da logística dos produtos frigorificados.

3. Quanto aos aspectos de operacionalização:

- Definir uma Política Nacional de Transportes integrada às políticas estaduais e municipais;
- Estabelecer um plano consistente de ampliação da capacidade de movimentação portuária de grãos, compatível com as expectativas de expansão das exportações;
- Sistematizar a operação de fiscalização rodoviária, nos níveis federal, estadual e municipal, com harmonização da atuação dos agentes envolvidos;
- Elevar o nível de segurança para o transporte rodoviário, incluindo programa para a redução do número de acidentes e de incidentes de roubo de carga;
- Sistematizar a informatização dos processos de despacho de navios de cargas, tripulantes e passageiros nos portos e terminais portuários.

4. Quanto aos aspectos regulatórios:

- Fomentar maior divulgação pelos agentes privados do quadro tarifário efetivo para o mercado “spot” de transporte ferroviário;
- Promover a construção naval e o armador nacional, entretanto regulando meios que permitam a aquisição de navios em estaleiros internacionais;
- Definir junto ao setor privado mecanismos institucionais que viabilizem internalizar a autorização da instalação de terminais de contêineres;

5. quanto aos aspectos da Gestão Pública:

- Melhorar a organização frente à sofisticação necessária para a administração dos negócios do estado moderno, envolvendo modelo de gestão do orçamento da União, visão ecológica, aspectos sanitários, qualidade e desenvolvimento sustentável.

6. Quanto á Gestão Governamental:

- Acelerar as medidas administrativas para concretização da implantação do Conselho Nacional de Políticas de Transportes – CONIT e lhe seja imposto o cometimento urgente de elaborar uma Política Nacional de Transportes- (PNT) visando o agronegócio e o desenvolvimento do Brasil, por meio de Decreto Presidencial, com ênfase na objetividade, simplicidade e conformidade com as necessidades emergenciais do sistema viário, traduzidas em um documento curto e simples, que exponha clara e precisamente os objetivos a serem alcançados e as diretrizes norteadoras da consecução desses objetivos;
- Elaborar plano de desenvolvimento de uma rede de frio nacional, envolvendo e harmonizando as iniciativas a cargo do setor público e do setor privado;

7. Para os diferentes modais recomenda-se:

- Fortalecer a atuação da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) no concerto dos órgãos incumbidos de estabelecer e manter os níveis operacionais das usinas geradoras de energia e promover as hidrovias com base no uso múltiplo das águas;
- Reativar e atualizar o Programa de Harmonização das Atividades dos Agentes nos Portos (PROHAGE), estendendo suas diretrizes ao conjunto de modais logísticos. A ação visa garantir eficiência logística integral e competitividade, com articulação conjunta entre MAPA, Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA), Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), Ministério dos Transportes (MT) e Ministério de Portos e Aeroportos, de forma a harmonizar o escoamento da produção agropecuária de grande escala, da agricultura familiar e da produção pesqueira, integrando os modais para redução do Custo Brasil.

Conclusão

Este trabalho apresentou um conjunto de propostas para projetos estruturantes no âmbito da agricultura, pecuária e florestas, com o objetivo de promover desenvolvimento, respeitando os paradigmas da resiliência e da sustentabilidade dos agroecossistemas e a interação com o ambiente urbano. As propostas consolidam um caminho para a definição de estratégias institucionais e nacionais, considerando o protagonismo do Brasil na inovação agropecuária, na sustentabilidade e na transformação digital.

O foco é o desenvolvimento de sistemas alimentares que promovam a saúde e segurança alimentar e nutricional, abordando também os segmentos de fibras e energia, com os biocombustíveis e afins. O texto abrange a transformação dos sistemas agroalimentares para torná-los mais sustentáveis, focando não apenas em calorias, mas em dietas saudáveis e nutritivas.

Destaca-se, ainda, a necessidade de aumento da produção por meio de intensificação sustentável, visando atender à demanda interna e contribuir para o atendimento à demanda mundial. O trabalho também aborda a urgência de atenção às mudanças climáticas para enfrentar estresses hídrico, térmico e biótico; a redução de perdas e desperdícios com práticas

baseadas na economia circular (ESG); e, finalmente, ações e políticas públicas que viabilizem a inovação, a automação responsável e uma maior inclusão.

Paulo E. Cruvinel
Pesquisador da Embrapa e membro do Conselho Tecnológico do SEESP

Referências

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. Plano safra da agricultura familiar 2023/2024, Disponível em:

https://www.gov.br/mda/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/CARTILHA_PLANOSAFRA.pdf . Acesso em 13 de fev. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa Mapa Conecta – Fortalecendo a Inovação no Agro. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/mapaconecta/ecossistemas/matogrosso/detalhes-do-ecossistema/programa/mapaconecta>. Acesso em: 18 fev. 2026.

DWIH SÃO PAULO. Research and Innovation in Brazil: Support and Funding. Disponível em:

<https://www.dwih-saopaulo.org/.../research-and-innovation-in-brazil-support-and-funding>.

Acesso em: 18 dez. 2025.

EMBRAPII. Embrapii e BNDES | Fomento à inovação na Indústria. Disponível em:

<https://embrapii.org.br/bndes/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

FAO. WMO and FAO partner to enhance early warnings for the agriculture sector. 2024.

ONU. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015.

Plano Diretor da Embrapa: 2024–2030. – Brasília, DF : Embrapa, 2024. PDF (45 p.). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1163372/1/PDE-2024-2030.pdf> . Acesso em 4 de fev. 2026.


VOULGARIDIS, K.; THOMAS L., AND PANAGIOTIS S.. "Towards industry 5.0 and digital circular economy: Current research and application trends." In: 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2022.




SDS Bloco D – Ed. Eldorado – Salas 106/109, SN – Asa Sul

CEP: 70392-901 – Brasília/DF – Telefones: (61) 3225-2288 e (61) 99986-0847

www.fne.org.br

 /FNEngenheiros

 /FNESind

 /fnengenheiros