

Título do Projeto:

MONITORAMENTO, AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM REGIÕES CATARINENSES

Resumo do Projeto:

O ambiente natural e a atividade humana interagem entre si de forma complexa, onde ações antrópicas produzem resultados que impactam seus componentes. Diante da crescente preocupação com a sustentabilidade dos sistemas ambientais catarinenses, torna-se relevante monitorar e acompanhar como estes sistemas estão sendo explorados e impactados pelas atividades humanas. Este projeto tem como objetivo identificar os problemas ambientais a partir de ações de monitoramento e avaliação, desenvolvimento de novas tecnologias e/ou reconfiguração dos sistemas produtivos procurando minimizar os impactos nos sistemas ambientais, bem como propor melhores práticas para a sua solução. Será realizado por meio de nove ações integradas de pesquisas, desenvolvidas no âmbito do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCAMB), com visão sistêmica, contemplando ações multidisciplinares e interdisciplinares. O foco serão sistemas ambientais de diferentes regiões do Estado de Santa Catarina, conforme a complexidade demandada de cada respectiva ação a ser desenvolvida. Este projeto apresenta caráter estruturante, integrador e sistêmico, e reúne as principais ações de pesquisa do PPGCAMB alinhadas com as atividades de ensino, pesquisa e extensão, com produção científica focada nos principais problemas ambientais em regiões catarinenses.

Palavras-chave: Sistemas Ambientais. Impactos Ambientais. Monitoramento Ambiental. Soluções Tecnológicas. Melhores Práticas.

Formulação do Problema:

Nas últimas décadas, significativas mudanças têm sido observadas nos processos produtivos, cujas transformações têm levado à reestruturação dos sistemas e ao surgimento de novas abordagens conceituais e modelos analíticos. O aumento populacional seguido de um intenso desenvolvimento tecnológico passou a demandar um volume maior de recursos naturais. Algumas alterações em resposta às mudanças no perfil das atividades e do consumo humano estão em curso, como por exemplo o expressivo aumento na demanda de energia (KEINER; GULAGI; BREYER, 2023). Neste contexto, as últimas décadas têm sido marcadas pelo crescente debate em torno de preocupações ambientais, tais como o aumento dos impactos decorrentes das mudanças climáticas (WANG; ZHANG; LI, 2023; WU; XU; SHI, 2023), com projeções de impactos ascendentes correlacionadas com o aumento populacional (JOHANNESSEN; SHALINA, 2022).

Neste contexto, uma agenda para o desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 2015) tem sido cada vez mais discutida pela comunidade científica e pelos diferentes atores da sociedade em função do agravamento das questões socioambientais e da evidência de que a capacidade de suporte dos ecossistemas foi ultrapassada. Diante das condições de fragilidade global, após o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável (BRUNDTLAND, 1988), estudos têm sido empreendidos na tentativa de construí-lo (PENG et al., 2023; SARFRAZ et al., 2023; TABARI; WILLEMS, 2023).

Considerando o arcabouço do paradigma centrado na sustentabilidade, surgem novos conceitos, princípios e ferramentas que podem contribuir com a mitigação dos impactos ambientais. A Ecologia Industrial, por exemplo, é uma nova abordagem aplicada ao design industrial de produtos e processos e

a implementação de estratégias de produção sustentável (JELINSKI et al., 1992). É a transformação do metabolismo industrial para reduzir o impacto ambiental mantendo o bem-estar humano, um desafio que requer compreender as interações fundamentais entre o capital humano, natural e os produtos manufaturados (WEISZ; SUH; GRAEDEL, 2015).

Nesse contexto, abordagens como a construção de redes de organizações, onde os resíduos de umas empresas são utilizados por outras, visam minimizar a degradação ambiental (CHERTOW, 2007). Trata-se da busca do fechamento do ciclo de matéria e energia em alternativa ao modelo linear, atingido através de uma teia de relações entre agentes e ecossistemas. Essa relação mais próxima entre os agentes, caracterizando a formação de uma simbiose industrial tem culminado com a formulação de um novo conceito: o de “Economia Circular; reforçando o aparato teórico em prol do reaproveitamento dos resíduos da produção e do consumo e, portanto, no fechamento do ciclo (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014).

Frente aos desafios contemporâneos, torna-se eminente desenvolver novas abordagens, novas tecnologias e novas estruturas para os sistemas produtivos de modo a mitigar seus impactos sobre os sistemas ambientais com vistas ao desenvolvimento sustentável. Assim, as questões que se apresentam neste projeto integrador são: como os recursos ambientais estão sendo utilizados e impactados pelas atividades humanas e produtivas? Que abordagens, tecnologias e/ou configurações de sistemas produtivos podem ser implementadas para mitigar seus efeitos sobre os sistemas ambientais? Quais iniciativas são efetivamente viáveis e capazes de reduzir os impactos ambientais?

Hipóteses:

1. Os processos de urbanização e atividades produtivas promovem impactos crescentes sobre os recursos naturais e os sistemas ambientais.
2. Novas abordagens, novas tecnologias e a reconfiguração de sistemas produtivos são alternativas para mitigar os impactos ambientais provenientes dos processos de urbanização e atividades produtivas.
3. Melhores práticas podem ser obtidas através de estudos de avaliação e viabilidade de solução de problemas ambientais.

Objetivos:

1. Objetivo Geral

Realizar ações de monitoramento e avaliação de recursos ambientais, desenvolver tecnologias e sistemas produtivos e propor medidas de mitigação de impactos ambientais em regiões catarinenses.

2. Objetivos específicos

- a) Monitorar recursos e sistemas ambientais para diagnosticar e acompanhar como estão sendo utilizados e impactados pelas atividades produtivas.
- b) Desenvolver tecnologias e reestruturar sistemas produtivos para a solução de problemas ambientais, com foco na busca de alternativas para minimizar os impactos ambientais.
- c) Avaliar alternativas tecnológicas e de sistemas de produção objetivando identificar as melhores práticas para a solução de problemas ambientais.

Metodologia a ser utilizada:

Trata-se de um projeto de pesquisa estruturante com visão sistêmica, contemplando ações multidisciplinares e interdisciplinares a serem desenvolvidas pelo corpo docente do PPGCAMB. As ações de pesquisa são de natureza aplicada e com abordagem quali-quantitativa, com escopo, objeto e finalidades definidos de acordo com o recurso ambiental, a tecnologia ou o sistema produtivo estudado no âmbito dos sistemas ambientais.

Um sistema ambiental é considerado como a unidade de análise base para todas as ações propostas, ou seja, é a unidade espacial de planejamento e gestão (Figura 1). Os impactos sistêmicos e difusos das ações antrópicas, ou seja, suas consequências não se restringem a um determinado local geográfico, podendo ser selecionado qualquer região catarinense como unidade de análise.

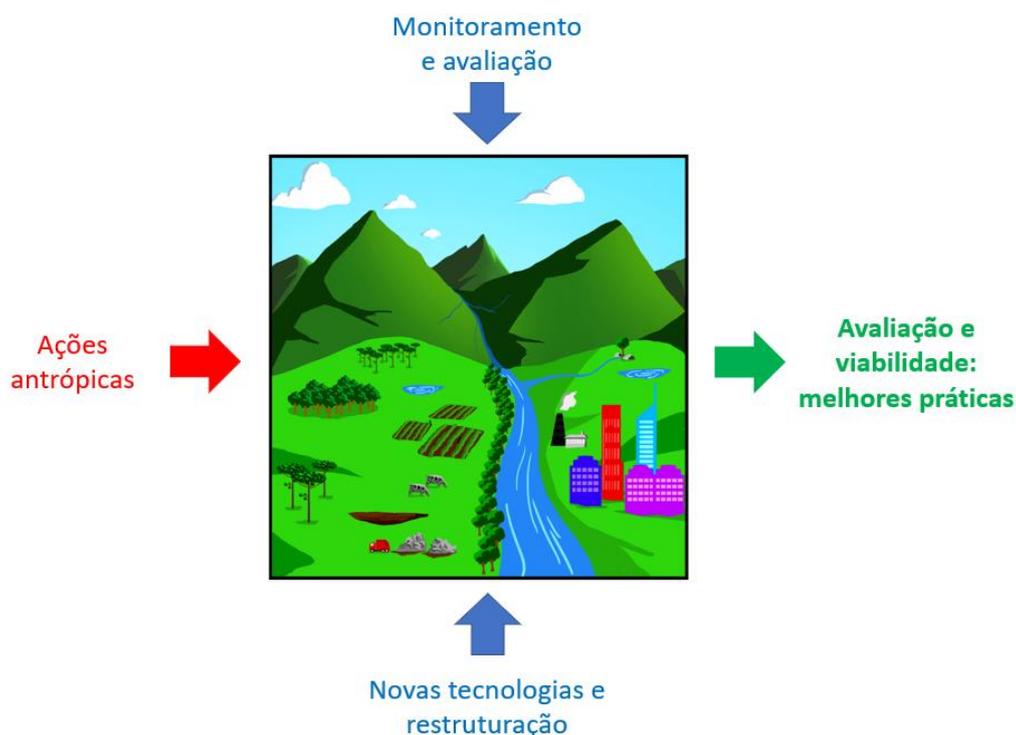


Figura 1. Representação esquemática das ações de pesquisa propostas, de caráter multi e interdisciplinar, no âmbito do PPGCAMB.

A coleta de dados, procedimentos de análise e tratamento estatísticos serão definidos e realizados conforme a especificidade de cada ação proposta. As ações de pesquisa apresentadas nesta proposta estão organizadas em três linhas de atuação, em consonância com os objetivos propostos:

1. Monitoramento de recursos e sistemas ambientais, com foco na obtenção de dados e informações, primárias e/ou secundárias, para diagnosticar como estão sendo utilizados e impactados pelas atividades produtivas. Compreende a análise, consistência e validação sobre os estados dos sistemas ambientais, com objetivo de melhor formular os problemas a serem resolvidos por meio das pesquisas técnico-científicas.
2. Desenvolvimento de tecnologias e reestruturação de sistemas produtivos para a solução de problemas ambientais, com foco na busca de alternativas para minimizar os impactos ambientais, por meio da aplicação de abordagens científicas, com diretrizes voltadas para a inovação.

3. Avaliação de alternativas objetivando identificar as melhores práticas para a solução de problemas ambientais sob o viés da sustentabilidade dos sistemas (social, ambiental e econômico). Busca apontar resultados conclusivos das alternativas de solução dos problemas formulados sobre os sistemas ambientais, incluindo-se em seu escopo os sistemas antrópicos e seus subsistemas associados, como o subsistema social, ambiental e econômico.

A articulação metodológica da presente proposta, considerando os pesquisadores envolvidos, as ações de pesquisa e os objetivos específicos estão representados na Figura 2.

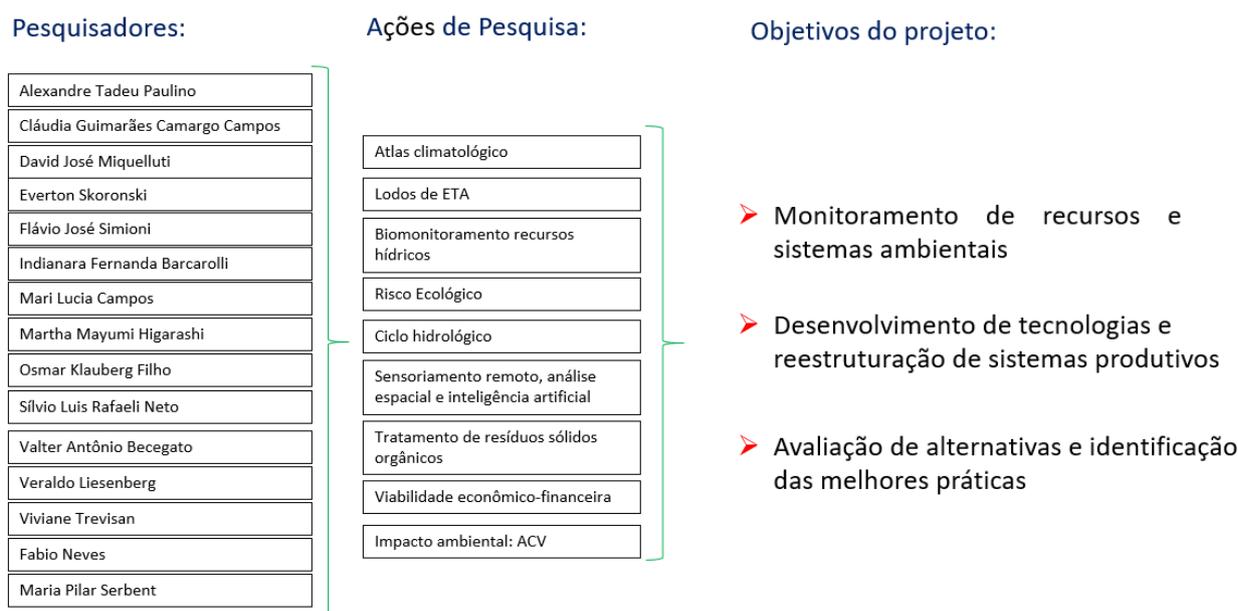


Figura 2. Representação esquemática da relação entre pesquisadores, ações de pesquisa e os objetivos o projeto.

Neste contexto, as ações de pesquisa são:

ACÃO 1: Elaboração de uma Atlas Climatológico como ferramenta de apoio e monitoramento ambiental.

No Estado de Santa Catarina atuam sistemas atmosféricos típicos de latitudes médias, que além de definir padrões climáticos, são responsáveis por bruscas mudanças de tempo, com variações significativas dos elementos meteorológicos (SANTOS; BONETTI, 2021). Entre tais sistemas e fenômenos meteorológicos destacam-se as frentes frias (sistemas frontais), ciclones extratropicais, tempestades, granizos, episódios de geada e neve, temperaturas extremas, inundações, secas e estiagens, entre outros. Tais eventos são registrados ao longo dos anos nas diferentes regiões de Santa Catarina, muitas vezes em grande intensidade e impacto social e econômico, favorecendo a ocorrência de deslizamentos de terra, incêndios florestais, epidemias de saúde e infestações de insetos, ambos diretamente ligadas às condições meteorológica e hidrológicas. Mudanças na periodicidade destes eventos influenciam os padrões climáticos regionais e, conseqüentemente, as atividades agroambientais (COLPO; MINUZZI, 2020).

Neste contexto, esta ação visa desenvolver, implementar e disponibilizar um Atlas Climatológico para o Estado de Santa Catarina, no formato de um Aplicativo, como uma ferramenta digital de apoio e

monitoramento agroambiental. Propõe-se, desta forma, disponibilizar o acesso a mapas temáticos com padrões climáticos e a identificação de regiões vulneráveis a padrões anômalos e extremos. A metodologia a ser utilizada envolve a organização dos dados meteorológicos, validação dos dados observados x dados estimados (Plataforma de Dados), elaboração dos mapas climáticos e dos padrões anômalos, criação, desenvolvimento e execução do Atlas Climatológico (Aplicativo e Website), bem como o registro e publicações dos resultados.

A sociedade é extremamente dependente do clima de uma determinada região, tendo suas características socioeconômicas moldadas e adaptadas aos diferentes padrões sazonais e anuais. Qualquer alteração nestes padrões climáticos, assim como nos principais processos físicos envolvidos neste tão complexo sistema, afeta a biodiversidade alterando o equilíbrio dos ecossistemas. Em vista disso, obter conhecimentos detalhados das condições climáticas atuais e da ocorrência de padrões anômalos, para uma determinada região, tem sido uma ferramenta de grande importância para planejamentos estratégicos de crescimento econômico e mitigações de impactos futuros.

A elaboração de um Atlas Climatológico que descreva os padrões climáticos regionais, assim como as principais anomalias climáticas, contribuirá como ferramenta de auxílio em diferentes áreas de atuação e servirá como subsídio científico de caracterização climática. Tornar disponível o conhecimento das peculiaridades de uma determinada localidade em relação aos seus padrões climáticos tornará mais eficientes as ações para mitigação e planejamento em diferentes setores econômicos, científicos e sociais. As peculiaridades climáticas de uma determinada localidade e/ou região, que poderão ser extraídas do Atlas, também servirão como referencial na definição de parâmetros climáticos e como suporte a diferentes aplicações científicas.

ACÃO 2: Avaliação da disposição controlada de lodos de ETA em solos das regiões catarinenses

O tratamento de águas superficiais para abastecimento público envolve a clarificação da água, por meio das técnicas de coagulação, floculação, sedimentação ou flotação, e filtração por gravidade, sendo estas as principais tecnologias empregadas. Desta forma, os sólidos suspensos e coloides, agregados ao PAC (polyaluminum chloride), geram um subproduto denominado lodo. Este resíduo é obtido a partir das descargas dos decantadores e também devido à lavagem dos filtros após o encerramento de suas carreiras de filtração. Neste contexto, além de apresentar contaminantes que inicialmente estavam dispersos e estabilizados na água bruta, o lodo é caracterizado por uma importante fração de alumínio proveniente do uso do PAC. Adicionalmente, outros metais podem ser adicionados via utilização deste coagulante, uma vez que ele é obtido a partir da bauxita extraída por mineração. Neste contexto, o objetivo geral desta proposta é estudar a aplicação no solo de lodo de estação de tratamento de água sob os aspectos técnico, econômico, ambiental e social.

O projeto será executado por meio da seleção e caracterização das ETAs e avaliação da geração de lodo, da avaliação multivariada da quantidade e qualidade do solo em função das características da bacia hidrográfica, da avaliação da disposição do lodo no solo, de estudo econômico e social da atividade de disposição controlada no solo e, por fim, da elaboração de minuta para definição de critérios e procedimentos para aplicação do lodo de ETA em solos.

Em termos de políticas públicas, o lodo gerado no tratamento de água é considerado um resíduo sólido. Assim, ele se enquadra, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e quanto à sua origem, como um resíduo dos serviços públicos de saneamento básico (Art. 13, inciso I da Lei 12.036 de 2010), estando sujeito aos princípios, instrumentos e diretrizes desta lei.

Desta forma, alternativamente à opção de disposição em aterros sanitário, outras alternativas de valorização do lodo de ETA foram apresentadas na literatura, incluindo: a sua aplicação como material suplementar na fabricação de cimento (Ferreira et al., 2022; Meert et al., 2021), tijolos (Cunha et al., 2019; Iwaki, 2018), remoção de íons fluoreto (Shakya et al., 2020), sua disposição controlada em sistemas de

esgotos sanitários (Wagner et al., 2019) e em regiões de mineração (Briso et al., 2022), e, finalmente, a disposição controlada no solo (Bittencourt et al., 2012; Daniel Gilmour et al., 2022; Jonathan D. Judy et al., 2019; Minto et al., 2023; Ribeiro et al., 2022; Turner et al., 2019). Desta forma, os resultados obtidos com a execução desta ação poderão fundamentar a proposta de uma instrução normativa que regulamente a disposição ambientalmente adequada dos subprodutos gerados nos sistemas de tratamento de água, cujos impactos esperados são positivos e reforçam o interesse público dos municípios catarinenses.

ACÇÃO 3: Biomonitoramento de contaminantes em recursos hídricos de regiões catarinenses

Os corpos hídricos apresentam grande relevância ecológica e social em todo o mundo, por possuírem características únicas, abrigar biodiversidade ampla, além de fornecerem bens e serviços para a sociedade. As atividades antrópicas, como a urbanização e as atividades agrícolas e industriais tem pressionado estes recursos expondo-os a diversos tipos de contaminantes, comprometendo a qualidade da água. Além disso, determinados compostos podem se acumular nos organismos aquáticos e afetar os seres vivos que os consomem (DÍAZ; LÓPEZ, 2013; ZHANG et al., 2019).

Dessa forma, esta ação visa monitorar e determinar as concentrações de metais pesados presentes em recursos hídricos de regiões catarinenses, verificar a bioacumulação desses metais em tecido muscular de espécies bioindicadoras, além de determinar a atividade enzimática em diferentes tecidos das mesmas espécies.

Os estudos de biomonitoramento visam averiguar os impactos dos diferentes tipos de contaminantes sobre os organismos aquáticos, assim como monitorar o real estado dos recursos hídricos e suas taxas de alterações (LI; ZHENG; LIU, 2010). É uma importante ferramenta para se avaliar a poluição ambiental em sistemas hídricos e os riscos que essas substâncias ou contaminantes apresentam sobre os organismos, assim como seus potenciais efeitos sobre toda a cadeia consumidora (GAVRILESCU et al., 2015; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013).

ACÇÃO 4: Avaliação do Risco Ecológico de substâncias e matrizes mistas

Estudos sobre substâncias químicas ou matrizes mistas (p.ex. resíduos, lodos, dejetos, etc.) e seus efeitos em organismos terrestres e aquáticos são complexos devido a ampla gama de fatores que se inter-relacionam nesse ecossistema. Atualmente, para realizar a avaliação e quantificação desses efeitos e dos riscos ambientais, faz-se uso de metodologias padronizadas e de organismos-chave como bioindicadores. Quando aplicadas, de forma a considerar os efeitos das substâncias e matrizes mistas nos diferentes níveis de complexidade das relações existentes nos meios solo e água, essas metodologias compõem o que chamamos de 'Análise de Risco Ecológico – ARE'. A ARE compreende um conjunto de métodos de coleta, avaliação, organização e análise de dados ambientais para estimar o risco a que receptores ecológicos (espécies, populações, comunidades) ou ecossistemas estão expostos considerando determinadas substâncias e/ou resíduos (VAN GESTEL, 2012). É um processo realizado em níveis estruturados, ou TIERs, com abordagens retrospectivas ou prospectiva (FINIZIO; VILLA, 2002).

A abordagem prospectiva visa prever impactos futuros do uso de substâncias para os ecossistemas a partir a avaliação dos efeitos tóxicos observados em um número de espécies indicadoras, expostas a diversas concentrações da substância-teste (VAN GESTEL, 2012). Um dos esquemas de ARE mais usado é a TRIADE onde linhas de evidência química, ecológica e toxicológica se unem para o estabelecimento do Risco, dando suporte a tomada de decisão quanto a valores de uso das substâncias ou resíduos que não ofereçam risco ambiental. A junção de pesquisas sobre o ambiente natural (ecologia e propriedades químicas) e de pesquisas sobre as interações das substâncias químicas tóxicas com organismos vivos individuais (toxicologia) (BHAT, 2013; DIEPENS et al, 2016) forma a base da ARE. Os organismos mais

utilizados em avaliações ecotoxicológicas são as plantas, organismos não-alvo da fauna edáfica e aquáticos.

AÇÃO 5: O ciclo hidrológico da água e suas relações com os sistemas ambientais, geográficos e antrópicos

Os recursos hídricos são sistemas complexos presentes em sistemas ambientais, que são afetados pelo uso do solo, geologia, características do relevo além de outros parâmetros que determinam a formação de bacias hidrográficas (TOLEDO, NICOLLELA, 2002). As atividades produtivas locais e a urbanização afetam a qualidade da água, assim como o efeito reverso também se observa sobre as atividades e sistemas produtivos locais, com impactos significativos das mudanças climáticas sobre a sociedade (NOAA, 2023). Neste contexto, o foco desta ação será sobre os sistemas relacionados com o ciclo da água na natureza (ciclo hidrológico) e suas relações com os sistemas geográficos e sistemas antrópicos.

Dentre os problemas a serem atacados estão os desastres naturais, a gestão dos recursos hídricos e o planejamento e a gestão de bacias hidrográficas. Em desastres naturais objetiva-se atacar problemas associados com chuvas intensas, escoamentos superficiais, infiltração da água no solo, propagação de ondas de cheias, bem como medidas estruturais e não estruturais de mitigação. Em recursos hídricos objetiva-se atacar problemas associados com escassez hídrica, vazões mínimas, infiltração da água no solo, recarga de aquíferos, perdas de água por evaporação ou evapotranspiração. Em planejamento e gestão de bacias hidrográficas objetiva-se atacar problemas associados com o uso da terra e suas relações com a infiltração da água no solo, recargas de aquíferos, escoamentos subterrâneos, escoamentos superficiais, perdas de água por evaporação ou evapotranspiração, escassez hídrica, enchentes e inundações.

Ação 6: Aplicações do sensoriamento remoto, análise espacial e inteligência artificial na solução de problemas ambientais

Os últimos anos testemunharam um aumento sem precedentes na disponibilidade de dados e imagens de sensores remotos – estes atuando em diferentes níveis de aquisição, ou seja, do terrestre, remotamente pilotado, aerotransportado ao orbital - com diferentes configurações relacionadas a resoluções espacial, radiométrica, espectral e temporal. Atualmente, uma variedade de dados de sensoriamento remoto de alta qualidade radiométrica está disponível de forma gratuita, tais como imagens da série Landsat e mais recentemente complementares da constelação Sentinel, que são capazes de fornecer imagens quase que semanais, cobrindo toda a superfície terrestre.

Notavelmente, várias constelações de sensores remotos em nível orbitais podem ser configuradas para a aquisição de imagens de alta resolução espacial, de qualquer lugar do mundo, em menos de um dia (leia-se Pléiades, Planet, etc.). Embora estes sejam comerciais, seus dados já são requisitados e acessados pelos docentes pesquisadores do PPGCAMB dentro dos vários convênios vigentes de ensino, pesquisa e inovação com as respectivas agências espaciais (e.g. Planet, JAXA, DLR).

Este cenário abre novas perspectivas de estudos, e fornecem uma riqueza de informações prontamente disponíveis para os mais diversos campos de aplicação da ciência ambiental. Ainda, fornecem subsídios para agentes políticos e gestores preocupados com o monitoramento ambiental, regularização fundiária, gerenciamento de recursos naturais, averiguação de moratória, e financiamento agrícola, dentre outros. Ao mesmo tempo, a tecnologia inteligência artificial, mais especificamente em aprendizado de máquina ao aprendizado profundo tornou-se a principal tendência na análise de grandes volumes de dados e imagens, seja para classificação (rotulação) ou recuperação de parâmetros biogeofísicos.

Técnicas recentes de aprendizado profundo têm sido capazes de fornecer métodos e ferramentas que frequentemente superam seres humanos na resolução de tarefas altamente complexas. Podem ser

citados os processamentos da linguagem natural, síntese de fala e, em particular interesse desta proposta, da análise de dados e imagens de diferentes sensores remotos. Acrescentam ainda, o crescente volume e a disponibilidade de ambos dados e de recursos computacionais. Nos últimos anos, redes neurais convolucionais foram aplicadas com sucesso para solução de vários problemas de análise de dados e imagens voltadas para a Observação da Terra e aplicações ambientais.

Assim, podem ser citados os trabalhos inovadores nesta temática conduzidos por Balti et al. (2023) no estudo e prognóstico de áreas susceptíveis a estiagem usando dados multitemporais de observação da terra e técnicas estatísticas multivariadas. Complementarmente, podem ser citadas os trabalhos reportados Zheng et al. (2023) na detecção e contagem de flores e frutos em pomares de morangos, e Shastry et al. (2023) no mapeamento de zonas inundáveis sob intervenção de nuvens e árvores. Ainda, nos métodos inovadores para a detecção e contagem de objetos por Wang et al. (2023) e no mapeamento de cicatrizes e intensidade de queimadas por Hu et al. (2023). Finalmente, na quantificação de resíduos de culturas agrícolas usando múltiplos dados e imagens de sensoriamento remoto (Wang et al. 2023) e na detecção e monitoramento de manchas de óleo em oceano por Dehghani-Dehcheshmeh et al. (2023). Estes trabalhos recentes são também motivadores e se alinham a diferentes demandas da região sul, que, é destaque em determinadas commodities agrícolas e florestal, bem como carece de informações em eventos de desastres naturais e métodos resilientes para confronto de estiagem dentro das técnicas de low impact development (LID) (Zamani et al. 2023).

Além disso, pretende-se contribuir continuamente em quatro aplicações-alvo, a saber: i) mapeamento do uso e cobertura da terra em distintos ambientes geomorfológicos com múltiplos dados e imagens de sensores remotos e modelagem ambiental, incluindo prognósticos de cenários futuros; ii) monitoramento de culturas agrícolas, pomares destinados para a fruticultura e fazendas contendo talhões de reflorestamentos de espécies exóticas fomentando a cadeia e setor produtivo florestal catarinense que é significativo para a região onde está inserida o curso de PG em Ciências Ambientais face ao representativo número de indústrias de base florestal; iii) recuperação de parâmetros biogeofísicos da vegetação, a partir de sequências de imagens multitemporais de diferentes sensores aéreos e orbitais, atuando nos espectros óptico, micro-ondas, LIDAR e termal; e iv) simular aspectos econômicos e de rentabilidade para fins de gestão territorial e tomada de decisões por parte de gestores públicos e/ou da iniciativa privada visando fomentar produção, desenvolvimento sustentável e qualidade de vida.

Salienta-se que estão disponíveis via fomento CNPq e FAPESC várias aeronaves remotamente pilotadas (ARP) que operam no espectro visível (DJI Phantom 4 ProV2) com integração de câmeras MAPIR red-edge e RGN 3N e 3W; ARP multiespectral (DJI Phantom 4 Multiespectral); e ARP Termal (Dji Mavic 3 Enterprise Thermal). Complementarmente, estão disponíveis equipamentos geodésicos (GNSS RTK DJI; Leica GS15), Workstation (AMD Ryzen 9 3900X, 64GB RAM, Video Geforce RTX2080 11GB), aplicativos para uso e processamento de dados e demais equipamentos e acessórios que assegurem a boa condução de pesquisas na área.

ACÇÃO 7: Elaboração de modelos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos

O meio ambiente não possui capacidade de absorver os resíduos sólidos orgânicos gerados pelas atividades industriais e agrossilvopastoris, o que torna imprescindível a identificação de tecnologias para reduzir os impactos ambientais decorrentes da destinação desses resíduos.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2022), os resíduos orgânicos correspondem a mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Somados aos resíduos orgânicos provenientes de atividades industriais e agrossilvopastoris, os dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos indicam que há uma geração anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos. A maior parte desses materiais são enviados para aterro sanitário ou dispostos no solo sem controle ou acompanhamento adequado, colocando em risco a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

A literatura apresenta opções de aproveitamento dos resíduos orgânicos, tais como: compostagem (Huang et al, 2021), digestão anaeróbia (Patwa et al, 2020), produção de biofertilizantes (Ali et al, 2023), digestão aeróbia (Wojnowska-Baryła et al, 2019), além da disposição em aterros.

O objetivo desta ação é caracterizar e quantificar a geração de resíduos sólidos orgânicos de atividades industriais e agrossilvopastoris, produzidos em diferentes regiões do estado de Santa Catarina, a fim de propor modelos tecnológicos adequados a cada região para o aproveitamento sustentável desses resíduos.

ACÇÃO 8: Viabilidade econômico-financeira de tecnologias e sistemas produtivos

O surgimento de novas tecnologias e de novas formas de estruturar os sistemas de produção existentes são desenvolvidos por ações de pesquisa e propostos para a sociedade. Contudo, antes de sua recomendação e disseminação em larga escala, torna-se relevante avaliar se estes efetivamente apresentam viabilidade econômica para implantação. Para a realização das análises de viabilidade econômico-financeira serão considerados coeficientes técnicos e econômicos que representam as tecnologias e sistemas produtivos estudados.

Para cada análise serão considerados os investimentos necessários para a implantação, assim como os custos e receitas previstos para diferentes cenários futuros. Os indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Anualizado (VPLa), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício Custo (RBC) e Custo Médio Ponderado de Produção (CMPP) e ponto de equilíbrio (Break-even point) serão utilizados para determinar a viabilidade econômico-financeira. As análises serão realizadas considerando um cenário base, ou seja, situação que representa a condição mais provável para a tecnologia ou o sistema produtivo avaliado, como também para cenários pessimistas e otimistas a partir de alterações das principais variáveis determinantes. Para tanto, serão identificadas as variáveis de risco em cada sistema de produção analisado e como estas impactam no fluxo de caixa do empreendimento e suas respectivas distribuições de probabilidade. Alterações nas variáveis que compõem um projeto apresentam elevado impacto sobre os indicadores de viabilidade econômico-financeira, as quais serão avaliadas a partir de técnicas de análise de sensibilidade e riscos (Método de Monte Carlo - MMC).

Os procedimentos analíticos seguirão os conceitos básicos da Engenharia Econômica e da Matemática Financeira para análise de projetos, tal como já empregado em trabalhos prévios (BIANCHINI; SIMIONI, 2021; JOSINO et al., 2020; SEVERIS et al., 2019). As análises econômicas, a obtenção dos indicadores de viabilidade e as simulações para a análise de risco serão realizadas usando o software de análise de risco @Risk (PALISADE, 2023).

ACÇÃO 9: Avaliação dos impactos ambientais de tecnologias e sistemas produtivos

O surgimento de novas tecnologias e de novas formas de estruturar os sistemas de produção existentes são desenvolvidos por ações de pesquisa e propostos para a sociedade. Contudo, antes de sua recomendação e disseminação em larga escala, torna-se relevante avaliar se estes efetivamente reduzem os impactos ambientais. A avaliação ambiental será realizada pelo método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), considerando objetos de análise de interesse que envolvem novas tecnologias ou sistemas produtivos.

A ACV será conduzida segundo o preconizado pelas normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2014a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2014b), que compreende quatro fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário de ciclo de vida; avaliação de impacto de ciclo de vida; e interpretação. As análises serão realizadas no programa computacional SimaPro (PRÉ SUSTAINABILITY B.V., 2023) ou OpenLCA (GreenDelta, 2023) utilizando-se de dados de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) da bases de dados, tais como a ecoinvent (ECOINVENT DATABASE, 2023; WEIDEMA et al., 2013).

Sistema de avaliação e acompanhamento do cumprimento das ações e proposição de ajustes

Em função das características de um projeto de longo prazo e que envolve um número significativo de participantes (docentes do PPGCAMB), estão previstas avaliações parciais ao longo de 8 anos de execução, sendo:

- Relatórios parciais a cada 2 anos, descrevendo os resultados obtidos e as ações que estão em andamento, frente aos objetivos propostos.
- Relatório final ao término do período proposto de 8 anos, apresentado os resultados obtidos frente aos objetivos propostos.

Os relatórios serão apresentados no âmbito do colegiado do PPGCAMB, tendo como objetivo adicional acompanhar a evolução da produção docente em dois quadriênios de avaliação da CAPES.

Produção e divulgação científica

Os resultados previstos das ações deste projeto serão prioritariamente artigos técnico-científicos completos, que serão submetidos a periódicos qualificados. Adicionalmente, outras formas de publicação poderão ser utilizadas, tais como a apresentação de trabalhos em congressos, sobretudo aqueles que serão realizados nacionalmente, objetivando atingir o público alvo diretamente interessado e beneficiado pelos resultados.

Ações de divulgação e disseminação dos resultados de forma direta em empresas públicas e privadas, assim como outras em entidades que compõem os Stakeholders, também serão realizadas objetivando disseminar informações de cunho técnico e prático e que podem ser colocadas em prática pelos tomadores de decisão.

Justificativa:

A abordagem estruturante apresentada na presente proposta representa uma ação conjunta e integrada do corpo docente do PPG Ciências Ambientais para o desenvolvimento de linhas de atuação com ações de pesquisa interconectados entre si.

Trata-se de um projeto estilo guarda-chuva, cujos resultados das ações de pesquisa terão impactos sobre os sistemas de produção, no sentido de contribuir para reorganizá-los e fazê-los evoluir rumo a um tipo de funcionamento que seja compatível com a biosfera e sustentável no longo prazo. De forma mais ampla, a resolução de problemas ambientais que afetam os sistemas está diretamente associada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo com: (2) Fome zero e agricultura sustentável; (3) saúde e bem-estar; (6) água potável e saneamento; (9) indústria, inovação e infraestrutura; (11) cidades e comunidades sustentáveis; (12) consumo e produção sustentáveis; (13) ação contra a mudança global do clima; e (14) vida na água.

Neste contexto, a presente proposta está alinhada com as linhas de pesquisa do programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, e visa cumprir com o papel da universidade no que tange ao desenvolvimento da pesquisa pública e aplicada, focada na busca de soluções para os problemas vivenciados pela sociedade.

Os sistemas ambientais catarinenses precisam ser constantemente monitorados para que se possa entender os impactos decorrentes de atividades antrópicas. Em complemento, busca-se desenvolver novas tecnologias que visam diminuir tais impactos, como também formas de produzir mais produtos com menor uso de recursos, contribuindo para o equilíbrio social, ambiental e econômico. Assim, torna-

se relevante avaliar se tais tecnologias e/ou novos sistemas produtivos são viáveis de serem implantados sob o ponto de vista econômico, ou seja, podem ser recomendados para adoção pelo setor privado e público. De forma complementar, e igualmente importante, torna-se relevante avaliar também se esses sistemas efetivamente reduzem o impacto ambiental. Essas informações, tanto econômicas quanto ambientais, são relevantes para os stakeholders, objetivando subsidiar o processo de tomada de decisão.

Revisão Bibliográfica:

O Projeto Estruturante do Doutorado em Ciências Ambientais tem por escopo os sistemas naturais ou ambientais e o desenvolvimento humano (PROSKURYAKOVA, 2022), nos quais componentes humanos e naturais interagem de forma acoplada (LIU et al., 2007), em diferentes níveis de hierarquias aninhadas, formando redes complexas de interação que estão incorporadas umas nas outras.

Estudos com abordagem holística sistêmica, tal como apresentado neste projeto, são importantes para compreender a complexidade de como que os sistemas ambientais se estruturam e funcionam (CHRISTOFOLETTI, 1998). Para tanto, é fundamental lançar mão da interdisciplinaridade (COSTA e OLIVEIRA, 2019).

Parte-se da necessidade de se considerar os sistemas ambientais amplos, que são produto da interação entre os sistemas naturais (Geossistemas ou físico-territoriais) com os Sistemas Antrópicos (sistemas socioeconômicos), que interagem entre si, estabelecendo fluxos de matéria e energia (CHRISTOFOLETTI, 1998; AMORIM, 2012). Assim, alterações nos sistemas naturais são observados em decorrência da ação antrópica. Como exemplo, Amorim (2012) cita os impactos sobre a erosão costeira em decorrência da significativa contribuição do escoamento superficial, acentuado pelo uso e ocupação da terra que alteraram a vazão e os sedimentos de uma bacia hidrográfica, e não apenas pelo solapamento da base pela ação marinha.

Estas interações ocorrem intrinsecamente nos sistemas geográficos (CHORLEY E KENNEDY, 1971), nos quais as bacias hidrográficas se destacam como unidades espaciais que delimitam as fronteiras dos sistemas ambientais. Assim, as bacias hidrográficas são sistemas naturais, cuja conformação de relevo resultante de interações complexas entre água e paisagem, condicionam as atividades humanas. A adoção da bacia hidrográfica como unidade espacial de planejamento e gestão representa uma quebra de paradigmas nas abordagens tradicionais no Brasil, pois busca articular a natureza com o desenvolvimento humano (ZEILHOFER e SANTOS DE MIRANDA, 2012). Deste modo, os problemas formulados nos sistemas socioambientais ficam espacialmente restritos, acoplados ao padrão fractal da rede hidrográfica da bacia. Isso permite que os problemas possam ser avaliados de forma sistêmica, em diferentes escalas, conforme os problemas se manifestem em macro ou microescala.

Uma bacia hidrográfica é considerada uma unidade de análise, muito utilizada para avaliações físicas, assim como pode ser entendida como uma unidade socioeconômica e geopolítica adequada para o planejamento e gestão (WANG et al., 2016). De acordo com os autores, uma bacia é uma área delimitada topograficamente que é drenada por um sistema de riacho, ou seja, é a área total acima de algum ponto de um riacho ou rio que passa por aquele ponto. Também é considerada uma unidade de resposta hidrológica, uma unidade biofísica e um ecossistema holístico em termos de fluxos de materiais, energia e informações que fluem através dela. As bacias hidrográficas podem apresentar tamanhos variados, desde milhares de quilômetros quadrados até uma pequena área drenada por uma corrente de água (WANG et al., 2016).

As bacias hidrográficas são áreas de paisagem espacialmente explícitas que contêm uma série de atributos físicos, ecológicos e sociais em interação. São sistemas socioecológicos que fornecem uma gama de serviços ecossistêmicos valorizados pela sociedade (FLOTEMERSCH et al., 2016).

Para Kerr (2007), uma bacia hidrográfica é considerada uma área definida por ligações hidrológicas que representa um tipo especial de recurso comum, a qual requer um uso coordenado dos recursos naturais por todos os usuários objetivando sua gestão ideal.

Os efeitos das diversas formas de intervenção ambiental nas bacias hidrográficas geram diferentes formas ou categorias de impacto ambiental. Entende-se como impacto ambiental “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2015). De acordo com a Resolução CONAMA N.º 001/86, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA/IBAMA), considera-se impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultantes das atividades humanas, que afetem direta ou indiretamente: a saúde; a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais” (BRASIL, 1986).

Os impactos ambientais (Figura 3) podem ser atribuídos às principais áreas de proteção de acordo com o interesse da sociedade: saúde humana, ambiente natural e recursos naturais, que são conhecidas como vias de impacto *endpoint*. De forma mais detalhada, os efeitos (18) dentro das categorias de impacto são chamados de *midpoint* (VAN ZELM, 2010).

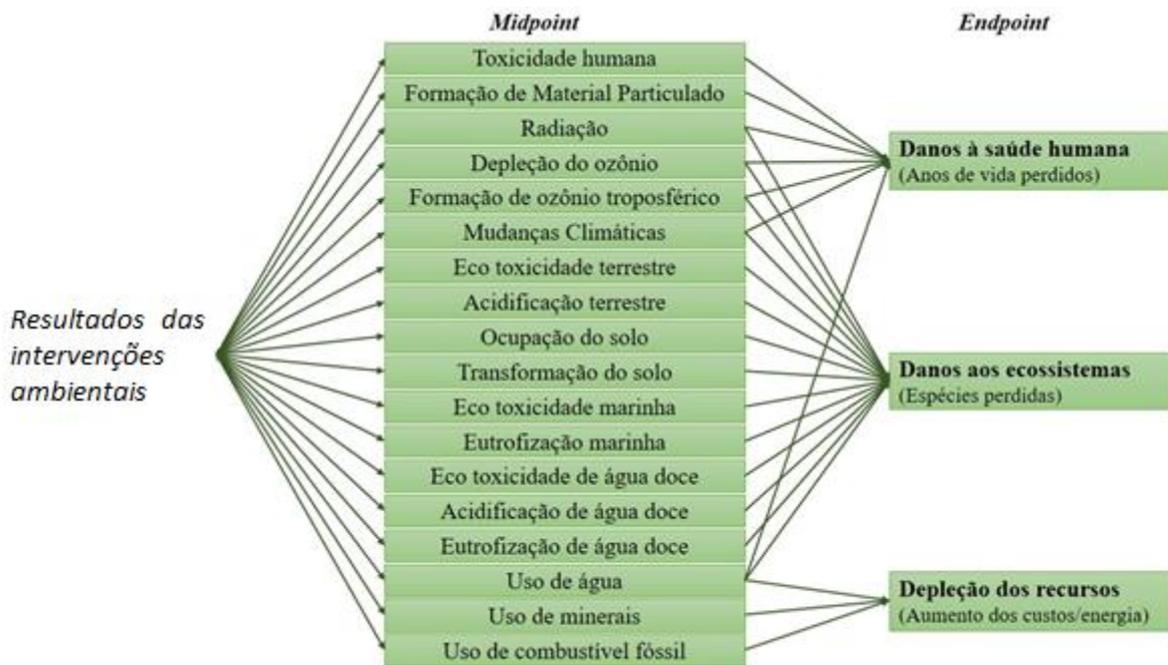


Figura 3. Representação das categorias de impacto *midpoint* e *endpoint*.

Bibliografia:

ABNT. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípio e estrutura.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, , 2014a.

ABNT. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>

ABNT. **NBR ISO 14001 – Sistemas de gestão ambiental:** requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro. 2015.

ALI, H., LETA, S., HUSSEN, A. et al. Resource recovery potential from source-separated organic municipal solid waste: opportunities for organic fertilizer production and creating sustainable urban agriculture in Ethiopia. **Journal of Material Cycles Waste Management** 25, 2417–2430 (2023). <https://doi-org.ez74.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10163-023-01709-5>

AMORIM, R.R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 41, p. 80–101, 2012.

BIANCHINI, D. C.; SIMIONI, F. J. Economic and risk assessment of industrial wood chip drying. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 44, p. 101016, 2021.

BALTI H. et al. Spatio-temporal heterogeneous graph using multivariate earth observation time series: Application for drought forecasting. **Computers and Geosciences**, 179, 105435, 2023. DOI: 10.1016/j.cageo.2023.105435.

BHAT, S. Ecotoxicology & Impact on Biodiversity. **J Pharmacog Phytochem.**, v. 2, n. 2, p. 1 - 19, 2013. ISSN 2278- 4136, IC Journal nº 8192. Disponível em: <http://www.phytojournal.com/archives/?year=2013&vol=2&issue=2&ArticleId=136>

BITTENCOURT, S., SERRAT, B. M., AISE, M. M., MARIN, L. M. K. DE S., & SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 17(3), p. 315–324, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000300008>

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** [recurso eletrônico]/coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022. 209 p.

BRUNDTLAND, G. H. The Brundtland Report: “Our Common Future”. **Medicine and War**, v. 4, n. 1, p. 17–25, 1988.

BRISO, A., VEGA, A. S., MOLINOS-SENANTE, M., & PASTÉN, P. Challenges and opportunities for drinking water treatment residuals (DWTRs) in metal-rich areas: an integrated approach. **Environmental Science and Pollution Research**, 29(43), 65599–65612, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20262-6>

CHERTOW, M. R. “Uncovering” industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, 2007.

CHORLEY, R., KENNEDY, B. **Physical geography:** a system approach. Prentice-Hall, 1971.

CUNHA, G. D. DA, LIMA, J. A. V., STACIWI, R., & TRONCO, K. M. DE Q. Caracterização e destinação ambientalmente corretas do lodo gerado pelas estações de tratamento de água. **Nature and**

Conservation, 12(2), 19–30, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2019.002.0003>

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1998.

COLPO, A. L.; MINUZZI, R. B. Indicações de datas de semeadura para a soja e o milho safrinha em anos de El niño e La niña canônicos no município de Chapecó, estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 10(1), 219-227. 2020.

COSTA, L.R.F. da, OLIVERIRA, V.P.V.de. Sistemas ambientais, vulnerabilidade ambiental e uso e ocupação na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa – Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n. 4, 2019, p. 1525-1537.

DANIEL GILMOUR, EHSAN JORAT, ANDREW MINTO, IRENE TIERNEY MALCOLM COULL, MATT AITKENHEAD, & RUPERT HOUGH. **Applying drinking water treatment residuals to land: opportunities and implications**. 2022.
https://www.crew.ac.uk/sites/www.crew.ac.uk/files/publication/CREW%20%20Applying%20drinking%20water%20treatment%20residuals%20to%20land%20%28002%29_0%2Blink.pdf

DEHGHANI-DEHCHESHMEH, S. Oil spills detection from SAR Earth observations based on a hybrid CNN transformer networks. **Marine Pollution Bulletin**, 190, 114834, 2023. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.114834

DIEPENS, N.J., KOELMANS, A.A., BAVECO, H., VAN DEN BRINK, P.J., VAN DEN HEUVEL-GREVE, M.J., BROCK, T.C.M., 2016. Prospective Environmental Risk Assessment for Sediment-Bound Organic Chemicals: A Proposal for Tiered Effect Assessment. Springer International Publishing. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. https://doi.org/10.1007/398_2015_5004

DÍAZ, J. E. S.; LÓPEZ, E. L. Freshwater Fish as Sentinel Organisms: From the Molecular to the Population Level, a Review. **Intech**, v. i, n. tourism, p. 13, 2013.

ECOINVENT DATABASE. **The ecoinvent Database is a Life Cycle Inventory (LCI) database that supports various types of sustainability assessments**. Disponível em: <<https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>>.

FLOTEMERSCH, J. E., LEIBOWITZ, S. G., HILL, R. A., STODDARD, J. L., THOMS, M. C., AND THARME, R. E. A Watershed Integrity Definition and Assessment Approach to Support Strategic Management of Watersheds. **River Research and Applications**, 32: 1654–1671, 2016. <https://doi.org/10.1002/rra.2978>.

FINIZIO, A.; VILLA S. Environmental risk assessment for pesticides: A tool for decision making. **Environ. Impact Assess. Rev.**, v. 22, p. 235–248, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(02\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(02)00002-1)

GAVRILESCU, M.; DEMNEROVÁ, K.; AAMAND, J.; AGATHOS, S.; FAVA, F. Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. **New Biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 147–156, 2015.

GREENDELTA. **Tools for supporting your work**. 2023. <https://www.greendelta.com/software/>

HU X. et al. Large-scale burn severity mapping in multispectral imagery using deep semantic segmentation models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 196, p. 228 - 240, 2023. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2022.12.026.

HUANG, C., TANG, Z., XI, B. et al. Environmental effects and risk control of antibiotic resistance genes in the organic solid waste aerobic composting system: A review. **Environmental. Science & Engineering**. 15 (6), 2021. <https://doi-org.ez74.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11783-021-1415-5>

IWAKI, G. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs**. Portal Tratamento de Água. 2018. <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-etasa-e-etes/>

JELINSKI, L. W. et al. **Industrial ecology: Concepts and approaches**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. **Anais...**1992.

JOHANNESSEN, O. M.; SHALINA, E. V. Population increase impacts the climate, using the sensitive Arctic as an example. **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, v. 15, n. 2, p. 100192, 2022.

JOSINO, M. N. et al. Financial impact of silviculture management regime flexibilization under risk conditions. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 48, n. 125, p. 1–11, 2020.

JUDY, J.D., SILVEIRA, M.L., AGYIN-BIRIKORANG, S., O'CONNOR, G.A. Drinking-Water Treatment Residuals to Control Phosphorus in Soils. **UF IFAS Extension**, 1, 1–6, 2019.

KEINER, D.; GULAGI, A.; BREYER, C. Energy demand estimation using a pre-processing macro-economic modelling tool for 21st century transition analyses. **Energy**, v. 272, n. December 2022, p. 127–199, 2023.

KERR, J. Watershed Management: Lessons from Common Property Theory. **International Journal of the Commons**, 1(1), 89–109, 2007. <https://www.jstor.org/stable/26522983>

LIU, J., DIETZ, T., CARPENTER, S. R., FOLKE, C., ALBERTI, M., REDMAN, C. L., SCHNEIDER, S. H., OSTROM, E., PELL, A. N., LUBCHENCO, J., TAYLOR, W. W., OUYANG, Z., DEADMAN, P., KRATZ, T., & PROVENCHER, W. (2007). Coupled human and natural systems. **Ambio**, v. 36, n. 8, p. 639–649, 2007. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[639:CHANS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[639:CHANS]2.0.CO;2)

LI, L.; ZHENG, B.; LIU, L. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. **Procedia Environmental Sciences**, v. 2, p. 1510–1524, 2010.

MEERT, R., HASTENPFLUG, D., & ANDRADE, J. J. DE O. Contribuição para o uso de lodo de estação de tratamento de água in natura como agregado miúdo em concretos de cimento Portland: Avaliação da consistência, massa específica, porosidade, absorção, resistência à compressão e tração na compressão diametral. **Matéria**, 26(3), 2021. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210003.13025>

MINTO, A., GILMOUR, D., JORAT, M. E., & TIERNEY, I. Potential Benefits and Disbenefits of the Application of Water Treatment Residuals from Drinking Water Treatment Processes to Land in Scotland: Development of a Decision Support Tool. **Sustainability**, 15(12), 9268, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15129268>

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Climate change impacts**. 2023. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts>

PALISADE. **Probabilistic Risk Analysis in Excel**. Disponível em: <<https://www.palisade.com/risk/>>.

PATWA, A.; PARDE, D.; DOHARE, D.; VIJAY, R.; KUMAR, R. Solid waste characterization and treatment technologies in rural areas: An Indian and international review. **Environmental Technology & Innovation**. 20, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101066>

PENG, K. et al. The global power sector's low-carbon transition may enhance sustainable development goal achievement. **Nature communications**, v. 14, n. 1, p. 3144, 2023.

PRÉ SUSTAINABILITY B.V. **LCA software for informed change-makers**. Disponível em: <<https://simapro.com/>>.

PROSKURYAKOVA, L. The interaction of environmental systems and human development in a time of wild cards. A big data enhanced foresight study. **Journal of Environmental Management**, 316, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115169>

RIBEIRO, P. L., BAMBERG, A. L., DOS SANTOS PEREIRA, I., MONTEIRO, A. B., DA LUZ POTES, M., & DE LIMA, C. L. R. Water treatment residuals for ameliorating sandy soils: Implications in environmental, soil

and plant growth parameters. **Geoderma**, 407, 115537, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115537>

SHAKYA, A. K., BHANDE, R., & GHOSH, P. K. A practical approach on reuse of drinking water treatment plant residuals for fluoride removal. **Environmental Technology**, 41(22), 2907–2919, 2020.
<https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1588383>

SANTOS, E. C.; BONETTI, J. Sistemas atmosféricos associados a eventos de inundação costeira na Enseada de Tijucas-Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(05), 2534-2549, 2021.

SARFRAZ, M. et al. Toward a new understanding of environmental and financial performance through corporate social responsibility, green innovation, and sustainable development. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2023.

SEVERIS, R. M. et al. Economic analysis and risk-based assessment of the financial losses of domestic rainwater harvesting systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, n. October 2018, p. 206–217, 2019.

SHASTRY A. et al. Mapping floods from remote sensing data and quantifying the effects of surface obstruction by clouds and vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 291, 113556, 2023. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113556.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios da Toxicologia Ambiental: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

TABARI, H.; WILLEMS, P. Sustainable development substantially reduces the risk of future drought impacts. **Communications Earth and Environment**, v. 4, n. 1, p. 1–10, 2023.

TOLEDO, L. G. de, NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, 59 (1), 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>

TURNER, T., WHEELER, R., STONE, A., & OLIVER, I. Potential Alternative Reuse Pathways for Water Treatment Residuals: Remaining Barriers and Questions—a Review. **Water, Air, & Soil Pollution**, 230(9), 227, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4272-0>

UNITED NATIONS. **Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development** Department of Economic and Social Affairs: Sustainable Development. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030 Agenda for Sustainable Development web.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf)>.

VAN ZELM, R. **Damage Modeling in life cycle impact assessment**. PhD-thesis (Radboud University, Nijmegen) Radboud University, Nijmegen, 2010, 250 p. 2010.

VAN GESTEL, C. A. M. Soil ecotoxicology: state of the art and future directions. **ZooKeys**, v. 176, p. 275–296, 2012. <https://doi.org/10.3897/zookeys.176.2275>

WANG B. et al. Few-Shot Object Detection in Remote Sensing Imagery via Fuse Context Dependencies and Global Features. **Remote Sensing**, 15, 3462, 2023. DOI: 10.3390/rs15143462.

WAGNER, L. F., WIECHETECH, G. K., & SZÉLIGA, M. R. Avaliação de estação de tratamento de esgoto com reator anaeróbio recebendo lodo de estação de tratamento de água Actiflo®. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 24(4), 709–717, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019145633>

WANG, G., MANG, S., CAI, H. et al. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. **Journal of Forestry Research**, 27, 967–994, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>

WANG, Q.; ZHANG, C.; LI, R. Does renewable energy consumption improve environmental efficiency in 121 countries? A matter of income inequality. **Science of the Total Environment**, v. 882, n. December 2022, p. 163471, 2023.

WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. **Ecoinvent Report**, v. 3, n. 1, p. 1–23, 2013.

WEISZ, H.; SUH, S.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecology: The role of manufactured capital in sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 20, p. 6260–6264, 2015.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. **World Economic Forum**, Geneva, 2014. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/towards-circular-economy-accelerating-scale-across-global-supply-chains/>>

WOJNOWSKA-BARYŁA I, KULIKOWSKA D, BERNAT K, KASIŃSKI S, ZABOROWSKA M, KIELAK T. Stabilisation of municipal solid waste after autoclaving in a passively aerated bioreactor. **Waste Management & Research**. 2019; 37(5):542-550. doi:10.1177/0734242X19833161

WU, M.; XU, J.; SHI, Z. Low carbon economic dispatch of integrated energy system considering extended electric heating demand response. **Energy**, v. 278, p. 127902, 2023.

ZAMANI, M.G. et al. Developing sustainable strategies by LID optimization in response to annual climate change impacts. **Journal of Cleaner Production**, 416, 137931, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137931.

ZEILHOFER, P., SANTOS DE MIRANDA, C. Proposta de parcelamento e infraestrutura em bacias urbanas: estudo de caso - Córrego do Moinho, Cuiabá, MT. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, 31, 37–53, 2012. <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74251>

ZHANG, Z.; FANG, Z.; LI, J.; SUI, T.; LIN, L.; XU, X. Copper, zinc, manganese, cadmium and chromium in crabs from the mangrove wetlands in Qi'ao Island, South China: Levels, bioaccumulation and dietary exposure. **Watershed Ecology and the Environment**, 2019.

ZHENG C. et al. Object-Detection from Multi-View remote sensing Images: A case study of fruit and flower detection and counting on a central Florida strawberry farm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 123, 103457, 2023. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103457.