

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

MOIRA ADAMS

**MODELO CONCEITUAL PARA AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA (ARSH) E AVALIAÇÃO
DE RISCO ECOLÓGICO (ARE) DA IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO DE FRUTICULTURA PARA
EXPORTAÇÃO EM UMA PAISAGEM DE PRODUÇÃO FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA
NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

São Paulo

2020

MOIRA ADAMS

**MODELO CONCEITUAL PRA AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA (ARSH) E AVALIAÇÃO
DE RISCO ECOLÓGICO (ARE) DA IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO DE FRUTICULTURA PARA
EXPORTAÇÃO EM UMA PAISAGEM DE PRODUÇÃO FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA
NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas,
Desenvolvimento Urbano Sustentável e
Revitalização de Brownfields.

Orientadora: Ph.D. Karin Guiguer

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Adams, Moira

Modelo conceitual para Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) e Avaliação de Risco Ecológico (ARE) da implantação de um projeto de fruticultura para exportação em uma paisagem de produção familiar de base agroecológica no semiárido potiguar / M. Adams -- São Paulo, 2020.

60 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Áreas contaminadas 2.Avaliação de Risco 3.Fruticultura 4.Agricultura familiar 5.Agroecologia I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

ADAMS, Moira. Modelo conceitual para Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) e Avaliação de Risco Ecológico (ARE) da implantação de um projeto de fruticultura para exportação em uma paisagem de produção familiar de base agroecológica no semiárido potiguar. 2020. 60 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Na região oeste do Rio Grande do Norte (RN), no semiárido, dois sistemas de produção antagônicos conflitam: o da produção familiar de base agroecológica, em processo de consolidação e transição desde a década de 1990, e o modelo de agronegócio dos empreendimentos de fruticultura voltados para exportação, atraídos pelas terras férteis e os grandes projetos de irrigação. Além dos impactos negativos sociais e econômicos comuns aos grandes empreendimentos, o modelo de produção voltado para exportação provoca sérios impactos ambientais decorrentes principalmente do uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, da irrigação em larga escala e da mecanização no preparo do solo e operações agrícolas. Nesse estudo focamos no potencial de contaminação do uso de agrotóxicos e fertilizantes e, dentro do contexto do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), elaboramos o Modelo Conceitual de uma Área (MCA) da instalação futura de um projeto de fruticultura irrigada voltada para exportação na região da Chapada do Apodi-RN, em uma paisagem onde predomina a agricultura familiar de base agroecológica. A abordagem é preditiva e tem como foco a realização da Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) e da Avaliação de Risco Ecológico (ARE). As fontes primárias de contaminação identificadas são os agrotóxicos pulverizados no controle de pragas e doenças, os fertilizantes aplicados misturados ao solo e a lanço, e o local de armazenamento de produtos e lavagem dos equipamentos utilizados na aplicação de agrotóxicos e fertilizantes. As matrizes ambientais e potenciais fontes secundárias de contaminação são o ar, solo, aquíferos, águas superficiais e armazenadas. As vias de transporte são a dispersão atmosférica, infiltração no solo e lixiviação, e o escoamento superficial. Os receptores sob a abordagem da ARSH são os trabalhadores do projeto de fruticultura, os moradores do entorno, e os consumidores dos produtos agroecológicos e do agronegócio que não moram no entorno. As vias de exposição

são a inalação de gotículas de agrotóxicos e partículas de fertilizantes e solo contaminado, e a ingestão e contato dérmico com os produtos aplicados ou com água, solo, plantas e animais contaminados. Na abordagem da ARE, os receptores identificados foram agrupados em biota do solo, vegetação nativa e fauna silvestre expostos à contaminação. Foram propostos 15 parâmetros de avaliação, sendo uma parte referente a processos ambientais representativos e sensíveis à presença de contaminantes, e outra com foco na proteção dos valores ambientais locais. As abordagens da ARSH e ARE se mostraram complementares e permitiram a definição dos possíveis cenários futuros de exposição aos contaminantes. O MCA refletiu um alto potencial de contaminação do meio ambiente e de riscos à saúde humana e ecológica na implantação de um projeto de fruticultura para exportação em uma paisagem de propriedades familiares de produção de base agroecológica no semiárido do Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Áreas contaminadas, Avaliação de risco, Fruticultura, Agricultura familiar, Agroecologia.

ABSTRACT

ADAMS, Moira. Conceptual Site Model (CSM) for Human Health Risk Assessment (HHRA) and Ecological Risk Assessment (ERA) of the installation of a fruit production project for export in an agroecological family production landscape in the semiarid region of Rio Grande do Norte. 2020. 60 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

In the western region of Rio Grande do Norte (RN), in the semiarid region, two antagonistic production systems conflict: that of family production based on agroecology, which has been in the process of consolidation and transition since the 1990s, and the agribusiness model of export-oriented fruit growing, attracted by fertile land and large irrigation projects. In addition to the negative social and economic impacts common to large enterprises, the agribusiness model causes serious environmental impacts mainly due to the intensive use of pesticides and fertilizers, large-scale irrigation and mechanization in soil preparation and agricultural operations. In this study we focus on the potential for environmental contamination from the use of pesticides and fertilizers. Within the context of Contaminated Site Management, we elaborated the Conceptual Site Model (CSM) for the future installation of an irrigated fruit production project for export an area in Chapada do Apodi-RN region, in a landscape where agroecological family farming predominates. The approach is predictive and focuses on conducting the Human Health Risk Assessment (HHRA) and the Ecological Risk Assessment (ERA). The primary sources of contamination identified are the pesticides sprayed for the control of pests and diseases, the fertilizers applied mixed with soil and by hauling, and the location for storing products and washing equipment used in the application of pesticides and fertilizers. Contaminated environmental matrices are air, soil, aquifers, surface and stored water, that can serve as secondary sources of contamination. Transport routes are atmospheric dispersion, soil infiltration and leaching, and runoff. The receptors under the HHRA approach are the fruit farming workers, the residents of the surroundings, and consumers of agroecological and agribusiness products who do not live in the surroundings.

In the ERA approach, the identified receptors were grouped into soil biota, native vegetation and wild fauna. The routes of exposure are inhalation of pesticide droplets and fertilizer and contaminated soil particles, ingestion and dermal contact with applied products or contaminated water, soil, plants, and animals. Fifteen evaluation parameters (endpoints) were proposed, part of them referring to representative environmental processes that are sensitive to contaminants, and the others focusing on the protection of local environmental values. The HHRA and ERA approaches proved to be complementary and allowed the definition of possible future scenarios of exposure to contaminants. The CSM reflected a high potential for contamination of the environment and for ecological and human health risks in the implementation of an export-oriented fruit growing project in a landscape of family production properties based on agroecology in the semiarid region of Rio Grande do Norte.

Keywords: Contaminated Sites, Risk Assessment, Fruit farming, Family farming, Agroecology.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Objetivo.....	12
1.1.1. Objetivos específicos	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1. Histórico das transformações no uso do solo na região.....	13
2.2. Comparação entre os modelos de agricultura convencional e de base ecológica ...	14
2.3. O uso de agrotóxicos na fruticultura irrigada do semiárido.....	16
2.3.1. Impactos dos agrotóxicos sobre o meio ambiente	18
2.3.2. Efeitos dos principais grupos químicos sobre a saúde humana.....	20
2.4. O uso de fertilizantes na agricultura tradicional	21
2.4.1. Impactos dos fertilizantes sobre o meio ambiente e a saúde humana	23
2.5. Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	24
2.5.1. Modelo Conceitual da Área	26
2.5.2. Avaliação de Risco à Saúde Humana	28
2.5.3. Avaliação de Risco Ecológico	29
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.1. Localização da área	31
3.2. Meio físico.....	32
3.2.1. Clima	32
3.2.2. Geologia.....	32
3.2.3. Solos.....	34
3.2.4. Hidrogeologia	36
3.2.5. Hidrografia.....	38
3.3. Flora	38
3.4. Fauna.....	41
4. MÉTODO	43
5. RESULTADOS.....	44
5.1. Fontes de contaminação.....	44
5.2. Substâncias Químicas de Interesse (SQI).....	44
5.3. Vias de transporte.....	45
5.4. Receptores	46
5.5. Vias de exposição.....	46

5.6.	Modelo Conceitual para ARSH	47
5.6.1.	Fonte primária: agrotóxicos pulverizados no controle de pragas e doenças....	47
5.6.2.	Fonte primária: fertilizantes aplicados misturados no solo ou a lanco	49
5.6.3.	Fonte primária: locais de armazenamento de produtos e lavagem de equipamentos utilizados na aplicação de agrotóxicos e fertilizantes	50
5.7.	Caminhos de exposição na ARE.....	50
5.8.	Parâmetros de avaliação na ARE.....	53
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55

1. INTRODUÇÃO

Na região Oeste do Rio Grande do Norte (RN), no município de Apodi, existem vários assentamentos e comunidades tradicionais rurais que historicamente trabalham a agricultura sob a perspectiva agroecológica (PINTO *et al.*, 2015; PONTES, 2012). As comunidades e assentamento desenvolveram um modelo de agricultura orgânica atrelado ao manejo ambiental integrado as estratégias de convivência com o semiárido, produzindo alimentos mais saudáveis através de sistemas de produção diversificados que evitam ou minimizam a necessidade de insumos externos (CARNEIRO *et al.*, 2015; PINTO *et al.*, 2015; PONTES, 2012). A produção desses agricultores familiares é comercializada principalmente em Mossoró – RN e municípios no entorno, constituindo importante fonte de renda às famílias e contribuindo significativamente no crescimento econômico da região (PINTO *et al.*, 2015; PONTES, 2012).

Nessa mesma região, que abrange também o leste do Ceará (CE), a fruticultura voltada para exportação vem ocupando cada vez mais espaços e aumentando a sua participação na economia do país. Em 2019 o RN ocupou a posição de maior exportador de frutas na balança comercial brasileira, principalmente de melão, melancia e castanha de caju (POTIGUAR NOTÍCIAS, 2020; TRIBUNA DO NORTE, 2020). Em oposição ao sistema da agricultura de base agroecológica, esse sistema agrícola convencional tem foco na maximização da produtividade através da implantação de extensas monoculturas com uso intensivo da mecanização e irrigação, e a aplicação de grandes quantidades de agrotóxicos e fertilizantes (CARNEIRO *et al.*, 2015; PINTO *et al.*, 2015; PONTES, 2012; SOARES, 2020).

A avaliação dos riscos associados à contaminação por agrotóxicos e fertilizantes utilizados na fruticultura sobre a saúde humana (Avaliação de Risco à Saúde Humana - ARSH) e o meio ambiente (Avaliação de Risco Ecológico – ARE) depende da compreensão do cenário de exposição dos potenciais receptores aos contaminantes (CONAMA, 2009). No contexto do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) a representação desse cenário é realizada através do Modelo Conceitual da Área (MCA), onde estão incluídos a identificação das Substâncias Químicas de Interesse (SQI), as respectivas fontes primárias e secundárias e os mecanismos de transporte, os receptores potencialmente expostos e as vias de exposição pelas quais as SQIs ingressam nos receptores (ABNT, 2013a; ABNT, 2013b; CETESB, 2017; CONAMA, 2009).

Para entender quais os riscos à saúde humana e ao meio ambiente decorrentes da implantação de projeto de fruticultura voltada para exportação em uma paisagem de propriedades familiares voltadas para a produção de base agroecológica, elaboramos o MCA de uma possível situação futura, onde uma empresa pretende implantar grandes extensões (cerca de 600 ha) de plantios irrigados na Chapada do Apodi (Apodi – RN).

1.1. Objetivo

Elaborar o MCA para ARSH e ARE na implantação de um projeto de fruticultura irrigada voltada para exportação em uma paisagem de propriedades familiares voltadas para a produção de base agroecológica no semiárido potiguar.

1.1.1. Objetivos específicos

- Levantamento das informações disponíveis na literatura sobre a área de estudo.
- Caracterização da área.
- Elaboração e avaliação do MCA sob a abordagem da ARSH e ARE.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Inicialmente será apresentado um breve histórico das transformações ocorridas no uso do solo da região de estudo. Em seguida uma comparação entre o modelo convencional de agricultura e o modelo de produção com base ecológica, e uma revisão sobre o uso de agrotóxicos e fertilizantes na fruticultura e os impactos potenciais sobre a saúde humana e meio ambiente. Finalmente são apresentados e discutidos os conceitos de MCA, ARSH e ARE no contexto do GAC.

2.1. Histórico das transformações no uso do solo na região

As transformações na dinâmica do uso da terra na região da Chapada do Apodi – RN se intensificaram a partir das décadas de 1970-1980, quando ainda predominavam os grandes latifúndios voltados para a produção do algodão. Esse processo se consolidou a partir dos anos 1990, quando foram estabelecidos vários assentamentos rurais e da reforma agrária e muitos latifundiários foram levados à ruína devido à crise do algodão (PONTES, 2012).

A região passou a ser predominantemente de agricultores familiares estabelecidos em assentamentos e comunidades que, com apoio de instituições como a Comissão Pastoral de Terra (CPT) e Articulação Semiárido Brasileiro (ASA), iniciam um movimento e o fortalecimento da agricultura familiar com uma matriz agroecológica e de práticas de convivência com semiárido, rompendo com o modelo tradicional (PONTES, 2012).

O processo produtivo da agricultura familiar de base agroecológica passou a ser o principal da Chapada do Apodi, com destaque para a apicultura e a caprinocultura, seguidas de ovinocultura, plantação de feijão, milho e sorgo, criação de bovinos, quintais produtivos, pomares e plantações de hortaliças. A região passou a ser conhecida em todo o país como um território agroecológico, de várias experiências exitosas na produção agroecológica (PONTES, 2012; PONTES et al. 2013).

A partir dos anos 2000 se iniciou uma nova transformação, que continua em andamento, com o estabelecimento de grandes empresas nacionais e transnacionais de fruticultura atraídas pelos solos férteis da região e a disponibilidade de água para irrigação. Além do Aquífero Jandaíra como fonte de captação de água subterrânea, encontrava-se

implantado desde 1989 o Perímetro Irrigado (PI) Jaguaribe-Apodi, que abrange parte da Chapada do Apodi no município de Limoeiro do Norte (CE), e existia a perspectiva de concretização de implantação do PI Santa Cruz do Apodi, no RN (PINTO, 2015; PONTES, 2012; PONTES et al. 2013; RIGOTTO et al., 2016).

Os PI são projetos de irrigação implantados pelo Governo Federal através do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) voltados para o fortalecimento do agronegócio, através da construção de açudes, canalização e bombeamento de água para áreas agrícolas (RIGOTTO et al., 2016).

O projeto do PI Santa Cruz do Apodi, que se encontra parado devido aos fortes conflitos socioambientais, tem como objetivo atender ao município de Apodi (RN) e entorno. A resistência à instalação do PI decorre não apenas da necessidade de desapropriação de pelo menos 800 famílias de agricultores que em sua maioria trabalham com modelo de agricultura de base ecológica, mas principalmente pelos impactos negativos causados na região pela instalação de grandes empreendimentos do agronegócio (PINTO, 2018; PONTES, 2012; PONTES et al. 2013; RIGOTTO et al., 2016).

2.2. Comparação entre os modelos de agricultura convencional e de base ecológica

O modelo convencional de agricultura, adotado pelas empresas de fruticultura na região da Chapada do Apodi, está baseado na necessidade de uma alta produtividade para garantir lucro imediato e na adoção de estratégias de superação das restrições ecológicas do meio ambiente. Dependem do uso intenso de agrotóxicos e fertilizantes em monocultivos estabelecidos em áreas extensas, onde o preparo do solo e tratamentos culturais (irrigação, adubação, controle de pragas) são altamente mecanizados (EMBRAPA, 2006; FREITAS, 2011; SOARES; CUNHA; PORTO, 2020; TEIXEIRA et al., 2011).

Além dos impactos sociais, culturais e econômicos devido à implantação de projetos dessa natureza em áreas caracterizadas pela presença de pequenas propriedades baseadas na agricultura familiar, o ecossistema sofre diversos impactos resultantes principalmente do desmatamento, mecanização do solo, adição de produtos químicos e uso de grande volume de água na irrigação. Causam erosão e perda do solo, contaminação ambiental e dos alimentos, desertificação, e redução da biodiversidade e serviços ambientais (FREITAS, 2011; TEIXEIRA et al., 2011).

As agriculturas de base ecológica, por outro lado, buscam a harmonização entre os fatores produtivos e os processos da natureza. Propõem a aplicação de princípios ecológicos à produção agropecuária a partir da diversificação de sistemas de produção e incorporação de técnicas alternativas ao modelo convencional, permitindo a redução ou eliminação do uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos. Possuem diversas correntes, entre elas a agricultura orgânica, e representam a aplicação dos princípios da Agroecologia voltados principalmente para o aspecto tecnológico (EMBRAPA, 2006).

A Agroecologia pode ser compreendida como um conjunto amplo de princípios que se institui pela incorporação da dimensão ecológica à produção agropecuária e

“se concretiza quando, simultaneamente, cumpre os ditames da sustentabilidade econômica (potencial de renda e trabalho, acesso ao mercado), ecológica (manutenção ou melhoria da qualidade dos recursos naturais), social (inclusão das populações mais pobres e segurança alimentar), cultural (respeito às culturas tradicionais), política (movimento organizado para a mudança) e ética (mudança direcionada a valores morais transcendentais)” (EMBRAPA, 2006).

O processo de transição agroecológica a partir do modelo convencional de agricultura envolve diferentes etapas e pode demorar alguns anos, dependendo das características locais e do sistema de produção. A transição interna aos sistemas produtivos busca a redução no uso de insumos químicos até a sua substituição, o manejo da biodiversidade e o redesenho do sistema (EMBRAPA, 2006).

A agricultura familiar de base ecológica é o principal processo produtivo da Chapada do Apodi, com arranjos produtivos diversificados e baseados em estratégias de convivência com o semiárido e manejo da caatinga, em espaços individuais ou coletivos. Destaca-se a apicultura, que em 2010 estabeleceu Apodi - RN como o segundo maior produtor de mel do país, assim como a caprinocultura e ovinocultura, plantio de feijão de corda, milho e sorgo, gergelim, melancia, criação de bovinos, quintais produtivos, pomares e plantações de hortaliças. O manejo da caatinga envolve o uso e enriquecimento dos fragmentos de vegetação com espécies nativas utilizadas pelas comunidades para energia (carvão e lenha), alimentação animal, além de espécies frutíferas e melíferas (CARNEIRO et al., 2015; PINTO et al., 2015; PONTES, 2012).

2.3. O uso de agrotóxicos na fruticultura irrigada do semiárido

Na fruticultura irrigada é utilizada uma grande variedade de produtos agrotóxicos, principalmente inseticidas e fungicidas, também acaricidas, nematicidas e herbicidas. Como não existem dados compilados para a região de estudo utilizamos como referência a região do submédio do Vale do São Francisco (VSF), municípios de Petrolina – PE e Juazeiro – BA, importante polo de fruticultura irrigada do semiárido da região Nordeste (AUGUSTO, 2010, apud CARNEIRO et al., 2015, p. 158-164; BEDOR et al., 2009; CORCINO et al., 2019).

Em levantamento realizado entre produtores e trabalhadores em pequenas, médias e grandes propriedades dessa região do VSF, Bedor et al. (2009) registraram 50 produtos comerciais utilizados na fruticultura, que incluíam os grupos químicos organofosforados (19%) piretroides (14%), benzimidazol (6%), triazol (6%), neocotinoides (5%) e outros (45%). A classificação toxicológica desses produtos se dividia entre extremamente tóxico (18%), altamente (19%), medianamente (40%) e pouco tóxico (23%) para seres humano, e a classificação ambiental estava distribuída entre altamente (9%) e muito perigoso (42%), perigoso (35%), pouco perigoso (4%) e em classificação (10%).

Augusto¹ (2010, apud CARNEIRO et al., 2015, p. 158-164) identificou 108 produtos comercializados nesse mesmo polo fruticultor, classificados em 71 ingredientes ativos e 8 misturas, dos grupos químicos organofosforados (25%) piretroides (9%), benzimidazol (6%), triazol (6%), neocotinoides (5%) e outros (49%). A maioria (81%) dos produtos estava classificada como medianamente, altamente e extremamente tóxicos, e muito (44%) e altamente (9%) perigosos para o meio ambiente.

Entre os fruticultores com propriedades de até 12 ha foi mencionada a mesma quantidade (108) de produtos (CORCINO et al., 2019), referente a 67 princípios ativos e 17 misturas, principalmente dos grupos químicos organofosforados (17%) e piretroides (18,4%). Cerca de 42% eram extremamente tóxicos e 63% altamente tóxicos para o meio ambiente.

A aplicação de agrotóxicos na região do submédio do VSF é realizada principalmente através da pulverização com trator, pulverizador costal ou tração animal (AUGUSTO, 2010, apud CARNEIRO et al., 2015, p.158-164; BEDOR et al., 2009; CORCINO et al., 2019).

¹ AUGUSTO, L.G.S. **A saúde dos trabalhadores e a sustentabilidade do desenvolvimento local**. Recife: Editora da UFPE, 2010.

A utilização de pulverizadores na aplicação de agrotóxicos aumenta a sua eficiência e reduz o volume de produto utilizado, mas também aumenta a área potencialmente impactada devido ao fenômeno da deriva - distância horizontal percorrida pelo produto aplicado através da pulverização. Em condições ideais de campo, a deriva está relacionada principalmente ao tamanho das gotas (associado ao tipo de bico de pulverização e características do líquido), velocidade e direção do vento, e altura da aplicação em relação ao alvo. As condições climáticas extremas encontradas na Chapada do Apodi na maior parte do ano, com altas temperaturas e taxas de evapotranspiração, ventos fortes e baixa umidade relativa, favorecem o aumento na deriva (ANDEF, 2004; CUNHA, 2008; MARASCA et al., 2017).

Em áreas extensas muitas vezes a aplicação de agrotóxicos é realizada através da pulverização aérea que, devido ao alto potencial de geração de impactos sobre o meio ambiente e saúde humana, foi regulamentada através de Instrução Normativa (IN) nº 2 de 3 de janeiro de 2008 emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2008). Ficou estabelecida a distância mínima para pulverização aérea de 500m de cidades e 250m de mananciais de água, moradias isoladas e agrupamentos animais, proibição de sobrevoo com a aeronave carregada sobre áreas povoadas, e as condições mínimas de temperatura, ventos e umidade relativa permitidas no momento da aplicação.

No estado do CE a aplicação de agrotóxicos através da pulverização aérea foi proibida através da Lei nº 16.820 de 8 de janeiro de 2019 (CEARÁ, 2019). Antes da proibição, Soares (2017) registrou a aplicação de organofosforados com uso de aeronaves cerca de quatro vezes por mês na fruticultura da Chapada do Apodi, no município de Limoeiro do Norte - CE, na maioria das vezes desrespeitando as normas vigentes e gerando impactos sobre o meio ambiente e saúde da população.

Nas culturas de banana desta região também eram aplicados em grandes quantidades, através de pulverização aérea, fungicidas sistêmicos (grupos químicos difenoconazol, triazol, epoxiconazol, piraclostrobina, e strobilurina) para combater a Sigatoka Amarela (*Mycosphaerella musicola*), com produtos de classe toxicológica I (extremamente tóxico) e II (muito tóxico), e classe ambiental II (muito perigoso e altamente persistente no meio Ambiente). As aplicações dessa calda de fungicidas eram realizadas pelo menos seis vezes durante a quadra invernal (fevereiro e maio), com um volume estimado de pelo menos

442.500 litros lançados anualmente sobre o 2.950 ha de cultivo de banana na Chapada do Apodi (MARINHO; CARNEIRO; ALMEIDA, 2011).

Em estudo realizado em 2008 sobre a qualidade das águas da Bacia Potiguar foram analisadas amostras de águas coletadas em poços na Chapada do Apodi e identificada a presença de inseticidas, acaricidas e fungicidas tipicamente utilizados nas culturas de melão, banana e abacaxi, e do herbicida Ametrina (grupo das triazinas). Embora as amostras tenham sido coletadas no Ceará, o aquífero analisado se estende ao RN e constitui muitas vezes a única forma de acesso à água pelas comunidades, devido ao custo alto na instalação de poços profundos na região (COGERH, 2009; MARINHO; CARNEIRO; ALMEIDA, 2011).

A presença de princípios ativos de agrotóxicos dos grupos químicos organofosforados (Glifosato e Fosmete), avermectinas (Abamectina), carbamatos (Carbofurano), e organoclorados (Endossulfan) também foi identificada em amostras de água coletadas nos canais que abastecem as comunidades da Chapada do Apodi, nas caixas d'água e poços profundos (MARINHO; CARNEIRO; ALMEIDA, 2011). Todos fazem parte do grupo de agrotóxicos banidos ou que estavam em reavaliação no Brasil, e proibidos em outros países (Quadro 1).

2.3.1. Impactos dos agrotóxicos sobre o meio ambiente

Os impactos do uso intensivo de agrotóxicos sobre o meio ambiente e saúde humana normalmente são percebidos a médio e longo prazo. A contaminação do meio ambiente (solos, água, ar, flora e fauna) e alimentos afeta a saúde dos trabalhadores e população no entorno, e dos consumidores dos produtos contaminados (vegetais, carne, peixe, leite, mel, ovos). Também provoca a morte de animais (domésticos e silvestres) e perda de biodiversidade, além da redução na produtividade de solos e sistemas agrícolas (CARNEIRO et al., 2015; MEA, 2005; MELLO; SILVEIRA, 2012).

Quadro 1 – Efeitos tóxicos de alguns produtos utilizados no Brasil.

Agrotóxico	Problemas relacionados
Abamectina	Toxicidade aguda e suspeita de toxicidade reprodutiva do ingrediente ativo (IA) e de seus metabólitos.
Acefato	Neurotoxicidade, suspeita de carcinogenicidade e de toxicidade reprodutiva e necessidade de revisar a ingestão diária aceitável (IDA).
Carbofurano	Alta toxicidade aguda, suspeita de desregulação endócrina.
Cihexatina	Alta toxicidade aguda, suspeita de carcinogenicidade para seres humanos, toxicidade reprodutiva e neurotoxicidade.
Endossulfam	Alta toxicidade aguda, suspeita de desregulação endócrina e toxicidade reprodutiva.
Forato	Alta toxicidade aguda e neurotoxicidade.
Fosmete	Neurotoxicidade.
Glifosato	Casos de intoxicação, necessidade de controle de impurezas presentes no produto técnico e possíveis efeitos toxicológicos adversos.
Lactofem	Carcinogênico para humanos.
Metamidofós	Alta toxicidade aguda e neurotoxicidade.
Paraquate	Alta toxicidade aguda e toxicidade.
Parationa Metílica	Neurotoxicidade, suspeita de desregulação endócrina, mutagenicidade e carcinogenicidade.
Tiram	Mutagenicidade, toxicidade reprodutiva e suspeita de desregulação endócrina.
Triclorfom	Neurotoxicidade, potencial carcinogênico e toxicidade reprodutiva.

Fonte: CARNEIRO et al. (2015).

Os solos são impactados pelos agrotóxicos através da sua aplicação direta, assim como pelo escoamento dos produtos aplicados nas plantas e deposição das gotículas presentes no ar. Podem também ser contaminados pelo descarte incorreto da água de lavagem de equipamentos utilizados na aplicação e preparo da calda. Ainda pelo descarte das embalagens dos produtos que, muitas vezes, são enterradas ou descartadas em lixões em vez de serem devolvidas aos fabricantes dos agrotóxicos, ou reutilizadas com outra finalidade, levando à contaminação do meio ambiente e de seres humanos (CARNEIRO et al., 2015).

Os contaminantes presentes no solo podem ser absorvidos pelas plantas, dispersos no ar aderidos às partículas de solo, lixiviados para os aquíferos ou carreados para corpos hídricos superficial, ou ainda entrar em contato direto com animais e seres humanos.

A ação dos agrotóxicos leva à eliminação ou redução da biodiversidade no solo, gerando impactos sobre a sua estrutura, disponibilidade de nutrientes e produtividade. Os

microrganismos e fauna do solo são essenciais na formação de agregados, que garantem a sua porosidade, aeração, retenção de umidade e menor suscetibilidade à erosão e compactação. São responsáveis pela degradação e incorporação de matéria orgânica no solo, condição para uma boa capacidade de retenção de nutrientes e posterior liberação para as plantas. Solos pobres em biodiversidade apresentam baixos teores de matéria orgânica e respondem mal à aplicação de fertilizantes, uma vez que tem baixa capacidade de retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas (LAVELLE et al., 2005; MENDES et al., 2010).

Grande parte dos contaminantes que alcançam os corpos hídricos se depositam e ficam acumulados no sedimento. São lentamente dissolvidos e transferidos para a coluna d'água, em um processo que é potencializado pelo revolvimento do fundo, aumento das chuvas e atividades como a dragagem (CETESB, 2020). Os efeitos tóxicos dos contaminantes afetam a biota do fundo e a aquática.

2.3.2. Efeitos dos principais grupos químicos sobre a saúde humana

Apesar de amplamente reconhecidos os efeitos prejudiciais dos agrotóxicos sobre a saúde humana, existem poucos dados oficiais e confiáveis que permitam estimar a extensão do seu impacto. Por serem biocidas, substâncias ativas que eliminam ou inibem o crescimento de microrganismos, os agrotóxicos interferem em uma ampla gama de mecanismos fisiológicos de sustentação à vida não apenas das espécies-alvo. Provocam danos ao meio ambiente e à saúde humana que muitas vezes são de difícil identificação e de estabelecimento de causalidade. Os efeitos podem ser agudos, mais visíveis durante e após o contato com o produto, ou crônicos, que podem aparecer muito tempo após a exposição ao produto e muitas vezes equivocadamente atribuídos a outros fatores (CARNEIRO et al., 2015; CASSMAN et al., 2005; PERES; MOREIRA; DUBOIS, 2003; ROSA; PESSOA; RIGOTTO, 2011).

Na região da Chapada do Apodi, no município de Limoeiro do Norte – CE, antes da sua proibição no estado do CE e em desrespeito à IN nº2 de 2008 emitida pelo MAPA (BRASIL, 2008), a pulverização aérea de agrotóxicos realizada sobre os plantios de espécies frutíferas gerava uma “chuva de veneno” sobre as comunidades e no entorno. No posto de saúde do Distrito de Tomé, os sintomas mais comuns relatados após as pulverizações eram problemas respiratórios, intoxicação, inflamação na pele, coceiras, pigarro na garganta, e pele manchada.

Os moradores também relataram a morte de animais domésticos e silvestres em decorrência das pulverizações aéreas, como galinhas, pássaros e peixes (ROSA; PESSOA; RIGOTTO, 2011).

A magnitude do dano à saúde humana causada pelos agrotóxicos vai depender da sua composição química, as características (pH, viscosidade, tensão superficial) e forma de aplicação do produto utilizado, as condições climáticas no momento da aplicação, e a susceptibilidade do indivíduo (CASSMAN et al., 2005; ROSA; PESSOA; RIGOTTO, 2011). Os sintomas mais comuns apresentados por pessoas intoxicadas devido à exposição a agrotóxicos amplamente utilizados no Brasil estão apresentados na Quadro 2.

Os organoclorados são estáveis e podem persistir no ambiente e no organismo por até 30 anos (CARNEIRO et al., 2015). São lipossolúveis e se acumulam nos tecidos gordurosos de animais e seres humanos, em um processo de bioacumulação. O aumento progressivo dessas concentrações também ocorre ao longo da cadeia alimentar, em um processo de biomagnificação, onde as concentrações das substâncias aumentam conforme aumenta o nível trófico (CARNEIRO et al., 2015; ROSA; PESSOA; RIGOTTO, 2011).

Os organofosforados passaram a ser utilizados como biocidas em substituição aos organoclorados a partir da década de 70, devido à forte atividade biológica e menor persistência no meio ambiente. No entanto são extremamente tóxicos e, assim como os carbamatos, afetam principalmente o sistema nervoso produzindo intoxicações agudas e subagudas (CARNEIRO et al., 2015; ROSA; PESSOA; RIGOTTO, 2011).

2.4. O uso de fertilizantes na agricultura tradicional

Os nutrientes essenciais e mais presentes nos tecidos das plantas são os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), e micronutrientes como ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu). No modelo de agricultura tradicional o fornecimento desses nutrientes para as culturas é realizado através da “correção” e adubação do solo (CASSMAN et al., 2005; LAVELLE et al. 2005; MENDES et al., 2010).

Quadro 2 – Sintomas (agudos e crônicos) mais comuns da contaminação por agrotóxicos utilizados no Brasil.

Agrotóxico	Grupo químico	Sintomas de intoxicação aguda	Sintomas de intoxicação crônica
Inseticidas	Organofosforados e carbamatos	Fraqueza, cólicas abdominais, vômitos, espasmos musculares e convulsões.	Efeitos neurológicos retardados, alterações cromossômicas, e dermatites de contato.
	Organoclorados	Náuseas, vômitos, contrações musculares involuntárias.	Lesões hepáticas, arritmias cardíacas, lesões renais e neuropatias periféricas.
	Piretroides sintéticos	Irritações das conjuntivas, espirros, excitação, convulsões.	Alergias, asma brônquica, irritações nas mucosas, hipersensibilidade.
Fungicidas	Ditiocarbamatos	Tonteiras, vômitos, tremores musculares, dor de cabeça.	Alergias respiratórias, dermatites, doença de Parkinson, cânceres.
	Fentalamidas	-	Teratogêneses.
Herbicidas	Dinitroferois e pentaclorofenol	Dificuldade respiratória, hipertermia, convulsões.	Cânceres (PCP-formação de dioxinas), cloroacnes.
	Fenoxiacéticos	Perda de apetite, enjoo, vômitos, fasciculação muscular.	Indução da produção de enzimas hepáticas, cânceres, teratogêneses.
	Dipiridilos	Sangramento nasal, fraqueza, desmaios, conjuntivites.	Lesões hepáticas, dermatites de contato, fibrose pulmonar.

Fonte: CARNEIRO et al. (2015).

A aplicação de fertilizantes é realizada através da incorporação no solo durante o preparo mecanizado da área, direto na cova ou na linha da semeadura no momento do plantio, e distribuídos sobre o solo nas linhas de plantio com sistemas a lanço utilizando adubadoras. Em algumas culturas agrícolas a adubação também pode ser realizada através da água de irrigação ou pulverização (adubação foliar de micronutrientes). Os produtos e quantidades aplicadas vão depender das características do solo e necessidade da cultura, mas na maioria dos solos tropicais utilizados na agricultura intensiva a adubação tem na sua formulação básica majoritariamente os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Os nutrientes incorporados ao solo e que não são absorvidos pelas plantas podem ser perdidos para a atmosfera na forma de gases, carregados pelo vento e escoamento superficial adsorvidos a partículas de solo para corpos hídricos superficiais, lixiviados para camadas mais

profundas e aquíferos, ou permanecerem “estocados” em formas disponíveis ou não disponíveis para as plantas. A capacidade de retenção dos nutrientes e de disponibilização para as plantas está diretamente relacionada ao conteúdo de matéria orgânica e à atividade biológica presente no solo (MEA, 2005; MENDES et al., 2010).

2.4.1. Impactos dos fertilizantes sobre o meio ambiente e a saúde humana

Assim como os agrotóxicos, o uso intensivo de fertilizantes químicos provoca danos aos solos, águas e ambiente no entorno. Aumenta a acidez do solo, reduz a biodiversidade, atividade biológica e a taxa de degradação de matéria orgânica, diminuindo a disponibilidade de outros nutrientes (principalmente fosfato e micronutrientes) e aumentando a concentração de íons de metais, que são tóxicos (CASSMAN et al., 2005; KOTSCHI, 2013; MENDES et al., 2010).

Entre os nutrientes essenciais para as plantas, nitrogênio e fósforo são aqueles que mais causam impactos na qualidade do meio ambiente porque são aplicados em grandes quantidades e podem ser facilmente transportados de áreas de plantios para outros ecossistemas e acumularem em níveis potencialmente poluidores. Os fertilizantes fosforados, por exemplo, apresentam grande persistência ambiental e podem permanecer no solo por dezenas de anos, servindo como fonte de contaminação para os cursos d’água, de difícil controle e eliminação devido à sua lenta liberação. Os outros nutrientes utilizados também podem afetar a qualidade do meio ambiente, mas em proporções menores e com efeito mais localizado (CASSMAN et al., 2005; FREITAS, 2007; LAVELLE et al. 2005).

Os fertilizantes com base em compostos nitrogenados, como a ureia, sulfato e nitrato de amônio são muito utilizados na agricultura tradicional e estão entre aqueles que mais acidificam os solos (MENDES et al., 2010). A superprodução de nitrogênio causada pela utilização dos compostos nitrogenados também pode provocar forte desequilíbrio nos ecossistemas terrestres no entorno, colocando-os em risco, assim como contribuem fortemente para a eutrofização (condição de excesso de nutrientes) de corpos hídricos juntamente com os fertilizantes fosforados (CASSMAN et al., 2005; LAVELLE et al. 2005).

Além dos efeitos que provocam quando aplicados em excesso no solo, os produtos utilizados com objetivo de nutrição das plantas ou para “correção” do solo também podem ser fonte de outros contaminantes. Foram encontrados em fertilizantes fosfatados e adubos

para suprir deficiências de micronutrientes a presença de elementos prejudiciais às plantas como Cd, Pb, U, Hg, Cr e As que, embora presentes em baixas concentrações, causam preocupação pelo efeito cumulativo no solo. Ainda não são conhecidos os impactos que o acúmulo desses elementos traço podem provocar sobre o ambiente, mas sabe-se que são absorvidos e armazenados nos tecidos das plantas, podendo causar fitotoxicidade, e que a sua entrada na cadeia alimentar pode provocar impactos sobre a qualidade ambiental e a saúde humana (MENDES et al., 2010).

Águas contaminadas pelo uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos também podem se tornar fontes secundárias de contaminação (MENDES et al., 2010). Em estudo realizado na Chapada do Apodi no município de Baraúna – RN, no polo de fruticultura Assú-Mossoró, Salviano et al. (2005) identificaram concentrações de Cd e Pb na água utilizada na irrigação com valores maiores que aqueles estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005) para o consumo humano e uso na produção de hortaliças. A água era captada através de poços artesianos do aquífero do calcário Jandaíra, em profundidades de 50 a 150 m e, embora fosse subterrânea, devido à sua utilização na irrigação de produtos para consumo humano as concentrações registradas foram comparadas com os valores de referência estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005)

O excesso de nitrogênio no ambiente pode ocasionar doenças respiratórias, cardíacas, diversos tipos de câncer, a “síndrome do bebê azul” (metaglobulinemia), cataratas, alergias, e afetar o sistema autoimune (ALEXANDRE, 2009; CASSMAN et al., 2005). Os sintomas e efeitos sobre a saúde humana pela exposição aos fertilizantes variam de acordo com a sua composição química, frequência e tempo de exposição. Os efeitos de alguns dos produtos mais utilizados no Brasil estão apresentados na Quadro 3.

2.5. Gerenciamento de Áreas Contaminadas

A resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009) estabeleceu as diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo e a proteção da qualidade das águas subterrâneas, e a possibilidade de configuração de sério risco à saúde pública e ao meio ambiente. No documento são descritas as etapas que devem ser seguidas no Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), os valores de referência, as metas e os critérios para a sua validação.

Quadro 3 – Efeitos na saúde humana pela exposição aos fertilizantes mais utilizados no Brasil.

Fertilizantes	Efeitos na saúde humana
Sulfato de ferro	Inalação: tosse, dificuldade respiratória. Ingestão: náuseas, vômitos, diarreia e fezes escuras, danos ao fígado, coma e morte. Contato com a pele: vermelhidão, coceira e dor. Contato com os olhos: irritação, vermelhidão e dor. Exposição crônica: danos aos vasos sanguíneos, danos ao fígado e descoloração dos olhos.
Nitrato de amônia	Inalação: tosse, dores de cabeça, garganta inflamada. Ingestão: dores abdominais, lábios ou unhas das mãos azuis, pele azul, convulsões, diarreia, tontura, vômito e fraqueza. Contato com a pele: vermelhidão. Contato com os olhos: vermelhidão e dor. Efeitos de curta duração: irritação dos olhos, da pele e do trato respiratório. Pode causar metemoglobina, com manifestação mais tardia.
Sulfato de potássio	Inalação: tosse, dor de garganta. Ingestão: problemas gastrointestinais se em grande quantidade. Contato com a pele: irritação. Contato com os olhos: irritação.
Sulfato de zinco	Inalação: irritação do trato respiratório, tosse e dificuldade respiratória. Ingestão: irritação severa, queimadura da boca, garganta e sistema digestivo, vômitos, dor no estômago, diarreia e fezes escuras, danos no fígado, coma e morte. Contato com a pele: irritação, vermelhidão, coceira e dor. Contato com os olhos: irritação, vermelhidão e dor. Exposição crônica: fadiga, diminuição dos reflexos, inflamação intestinal, diarreia, depressão do SNC, tremores e paralisia de extremidade. Na pele e olhos, efeitos danosos.
Ureia	Inalação: irritações respiratórias. Contato com a pele: irritações em alguns casos. Contato com os olhos: irritação e queimaduras.

Fonte: CARNEIRO et al. (2015).

O conceito de GAC foi atualizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB em 2017, através da Decisão de Diretoria nº 38 (CETESB, 2017, p. 14):

“...visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente em decorrência da exposição às substâncias provenientes de áreas contaminadas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos riscos e danos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos

necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.”

A metodologia do GAC descrita nesse mesmo documento (CETESB, 2017) está baseada no cumprimento de etapas sequenciais que compõe dois processos: de Identificação de Áreas Contaminadas, e de Reabilitação de Áreas Contaminadas. As etapas devem ser necessariamente cumpridas na ordem apresentada, uma vez que dependem das informações geradas na etapa anterior, mas a necessidade de que sejam cumpridas vai depender da situação e do local.

O primeiro processo, de Identificação de Áreas Contaminadas, é constituído por seis etapas (CESTESB, op. cit., p. 14):

- a) identificação de áreas com potencial de contaminação;
- b) priorização de áreas com potencial de contaminação;
- c) Avaliação Preliminar;
- d) Investigação Confirmatória;
- e) Investigação Detalhada;
- f) Avaliação de Risco.

O processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas depende do resultado do primeiro processo, e deve ser realizado nos casos em que o resultado da etapa de Avaliação de Risco indicar a necessidade de realização de intervenção para eliminar ou tornar tolerável o risco identificado. Esse processo está dividido em três etapas (CESTESB, op. cit., p. 15):

- a) elaboração do Plano de Intervenção;
- b) execução do Plano de Intervenção;
- c) Monitoramento para Encerramento.

2.5.1. Modelo Conceitual da Área

A partir da etapa de Avaliação Preliminar, quando é realizado o diagnóstico inicial da área com potencial de contaminação, é necessária a elaboração do Modelo Conceitual da Área (MCA), que servirá de base para as ações que serão realizadas na próxima etapa. No MCA inicial devem constar pelo menos as informações levantadas referentes à localização das áreas fonte e fontes potenciais de contaminação, as Substâncias Químicas de Interesse (SQI), as características do meio físico (tipo de solo, geologia, hidrogeologia) e os principais usos e

ocupação do solo na região. A cada nova etapa são adicionados dados e elaborados MCA mais detalhados, e assim sucessivamente até a última etapa (CETESB, 2017).

A norma ABNT NBR 16210 (ABNT, 2013a) estabelece os procedimentos e conteúdos mínimos para o desenvolvimento de Modelos Conceituais (MC) aplicados ao GAC, que são descritos como a

“representação escrita ou gráfica de um sistema ambiental e os processos biológicos, químicos e físicos, que determinam o transporte dos contaminantes a partir das fontes, através dos meios, até os receptores envolvidos” (ABNT, op. cit., p. 3).

O MC deve ser *“consistente com a complexidade de área e dos dados disponíveis”* e fornecer

“informações suficientes para auxiliar no desenvolvimento de cenários de exposição atuais e futuros, bem como descrever as incertezas relacionadas a cada uma das atividades básicas supracitadas” (ABNT, op. cit., p. 3).

A sua elaboração permite a integração todas as informações disponíveis da área objeto de estudo e verificar a necessidade de complementação. As incertezas devem ser claramente identificadas *“e se possível quantificadas, de modo que esforços possam ser tomados para reduzi-las a níveis aceitáveis dentro do contexto do estudo”* (ABNT, op. cit., p. 4).

O conteúdo mínimo e respectivos conceitos para a elaboração de MCA, com foco na Avaliação de Risco, estão descritos na norma ABNT NBR 16210 (ABNT, op. cit., p. 5-6) e ABNT NBR 16209 (ABNT, 2013b, p. 3-4), que estabelece os procedimentos para a ARSH:

“Substâncias Químicas de Interesse (SQI): elemento, substância ou produtos químicos considerados de interesse nas etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.” (ABNT, 2013b).

“Fonte primária: instalação ou material a partir dos quais os contaminantes se originam e foram ou estão sendo liberados para os compartimentos do meio físico contaminados.” (ABNT, 2013a; ABNT, 2013b).

“Fonte Secundária de Contaminação: meio atingido por substâncias químicas de interesse provenientes da Fonte Primária de Contaminação, capaz de armazenar certa massa dessas substâncias e atuar como fonte de contaminação de outros compartimentos do meio físico.” (ABNT, 2013a).

“Vias de transporte: movimento de um agente químico ou físico no meio ambiente depois de liberado da fonte para algum outro meio, por exemplo, movimento através do ar, água superficial, água subterrânea, solo, sedimentos ou cadeia alimentar.” (ABNT, 2013b).

“Receptor: organismo, comunidade, habitat sensível o ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais substâncias químicas de interesse associados a um evento de contaminação.” (ABNT, 2013b).

“Vias de exposição: processo pelo qual o contaminante ou agente físico do meio ambiente entra em contato direto com o corpo, tecidos, ou as zonas de contato entre o ambiente e o organismo receptor, por exemplo, ingestão, inalação, contato dérmico, absorção pelas raízes, absorção pelas guelras.” (ABNT, 2013b).

“Caminho de Exposição: percurso desenvolvido, ou que possa ser desenvolvido, por uma substância química de interesse (SQI) desde a fonte de contaminação até o receptor.” (ABNT, 2013a).

2.5.2. Avaliação de Risco à Saúde Humana

A Avaliação de Risco corresponde à última etapa do primeiro processo do GAC, de Identificação de Áreas Contaminadas, e tem como objetivos

“caracterizar a existência de risco aos receptores identificados, expostos e potencialmente expostos às substâncias químicas de interesse presentes na Área Contaminada sob Investigação (ACI) e decidir sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção” (CETESB, op. cit.).

Na resolução CONAMA nº 420 o conceito de risco é definido como a *“probabilidade de ocorrência de um efeito adverso em receptores expostos a contaminantes”* (CONAMA, 2009, p. 4) e a Avaliação de Risco como *“processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido”* (CONAMA, op. cit., p. 2).

Os bens a proteger abrangem a *“saúde, e bem estar da população, fauna e flora, qualidade do solo, das águas e do ar, interesse de proteção à natureza/paisagem, ordenação territorial e planejamento regional e urbano, segurança e ordem pública”* (CONAMA, op. cit., p. 3).

A norma ABNT NBR 16209 (ABNT, 2013b, p. 3) dispõe especificamente sobre a Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) para fins de GAC, e a descreve como a

“etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas por meio da qual determina-se qualitativa e/ou quantitativamente as chances de ocorrência de feitos adversos à saúde, decorrentes da exposição humana a áreas contaminadas por substâncias perigosas”.

No MCA que servirá de subsídio à ARSH, deve estar representado o conjunto de cenários de exposição atuais e futuros com a apresentação da localização da contaminação,

as vias de transporte e distribuição das SQI desde a fonte até os pontos de exposição, e as vias de exposição dos receptores envolvidos (ABNT, op. cit.).

2.5.3. Avaliação de Risco Ecológico

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) possibilita a determinação da probabilidade de ocorrência de efeito adverso sobre populações (espécies não domesticadas), comunidades ou ecossistemas expostos a contaminantes, através da integração dos dados ambientais de uma área de interesse. É um processo dinâmico, complexo e não-linear, que serve de suporte para a tomada de decisões na gestão de riscos e GAC (PAGLIARINI; OLIVEIRA; ESPINDOLA, 2019; SILVA et al. 2013; USEPA, 1997).

A escala e a complexidade da ARE, assim como as metodologias de investigação e protocolos utilizados são determinados pela equipe executora e stakeholders do projeto. Essas escolhas devem ser consistentes e tecnicamente defensáveis, o que inclui a adoção de uma postura de precaução na formulação do problema e na determinação dos parâmetros de avaliação (*endpoints*) para evitar que sejam eliminados potenciais contaminantes ou caminhos de exposição sem uma análise (USEPA, 1997).

Segundo a United States Environmental Protection Agency – USEPA (USEPA, 1997) o primeiro passo em uma ARE deve ser a definição do problema e a avaliação dos riscos ecológicos existentes e potenciais, com foco na identificação de prioridades. No Modelo Conceitual elaborado nessa etapa devem constar:

- a) descrição das condições ambientais e contaminantes presentes (ou suspeitos) na área;
- b) destino e mecanismos de transporte dos contaminantes;
- c) mecanismos de ecotoxicidade associados aos contaminantes e prováveis grupos de receptores;
- d) caminhos de exposição;
- e) seleção de parâmetros de avaliação.

Os parâmetros de avaliação escolhidos devem representar explicitamente valores ambientais existentes na área e que necessitam ser protegidos. Ainda que atrelados aos aspectos gerais do atendimento a demandas legais, devem ser suficientemente específicos para guiar o processo da ARE em uma área em particular (USEPA, 1997).

Apesar do reconhecimento da sua importância como ferramenta no GAC existem poucos registros da aplicação da ARE no Brasil, onde ainda não existe regulamentação (PAGLIARINI; OLIVEIRA; ESPINDOLA, 2019; SILVA et al. 2013).

A resolução CONAMA 420 (CONAMA, 2009, p. 8) estabelece que os resultados da ARE podem servir de base ao gerenciamento do risco mas não estabelece a sua obrigatoriedade, ficando *“a critério do órgão ambiental competente”* e nas situações *“em que a existência de determinada AI ou ACI possa implicar em impactos significativos aos recursos ambientais”*.

Embora o foco da norma NBR 16209 seja a ARSH e inexista menção à ARE, foram incluídos na conceituação de bens a proteger aqueles *“que, segundo a Política Nacional do Meio Ambiente e legislações decorrentes desta, devem ser protegidos”* (ABNT, 2013a, p. 3).

A Decisão de Diretoria nº 38 (CETESB, 2017) estabeleceu a obrigatoriedade de realização de ARE no estado de São Paulo nas situações em que um ecossistema natural esteja ou possa estar sob a influência de área contaminada sob investigação, com objetivo de verificar a ocorrência de risco de uma espécie, comunidade ou ecossistema, mas com aplicação apenas em Áreas de Conservação de Proteção Integral. Nas diretrizes gerais para a elaboração de ARE descritas em seu Anexo 2, determina que devem ser avaliados os efeitos diretos e indiretos aos receptores ecológicos, os estruturais (biodiversidade, espécies relevantes) e funcionais (funções ecológicas), considerando as escalas espacial e temporal.

No estado de Santa Catarina a obrigatoriedade de realização de ARE foi estabelecida sob as mesmas diretrizes definidas pela CETESB (2017), através da Instrução Normativa nº 74 (IMA, 2018), mas sem restringir a sua aplicação a Áreas de Conservação de Proteção Integral.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

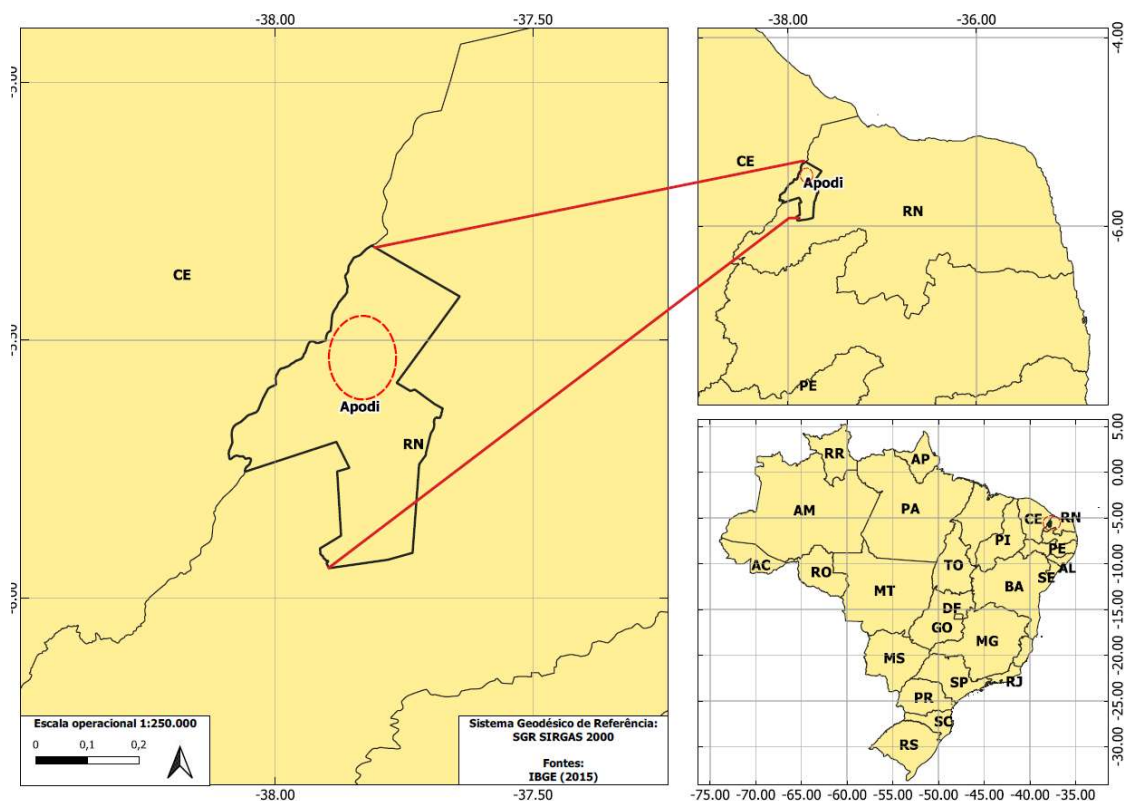
A elaboração do MCA neste estudo está baseada em uma possível situação futura onde uma empresa de fruticultura para exportação pretende implantar na região da Chapada do Apodi – RN grandes extensões (cerca de 600 ha) de plantios irrigados.

O sistema de irrigação por pivô central será utilizado em quase toda a extensão da área plantada, e a demanda por água será suprida prioritariamente por um sistema de poços para captação de água subterrânea e através do bombeamento de água superficial a partir de um braço do Rio Apodi.

3.1. Localização da área

A área de estudo, onde hipoteticamente se pretende estabelecer o projeto de fruticultura irrigada voltado para exportação, está localizado no município de Apodi (UTM 39°W - SIRGAS 2000 – N: 9374002.56 E: 632723.98), na região Oeste do RN (Figura 1), na sua porção denominada Chapada do Apodi.

Figura 1- Localização do município de Apodi no estado do Rio Grande do Norte (RN) com a área de estudo em destaque (vermelho).



Fonte: IBGE (2015).

3.2. Meio físico

As características do meio físico da área são elementos fundamentais para a compreensão do comportamento e mecanismos de transporte de contaminantes a partir de suas fontes, os receptores em potencial e respectivas vias de exposição.

3.2.1. *Clima*

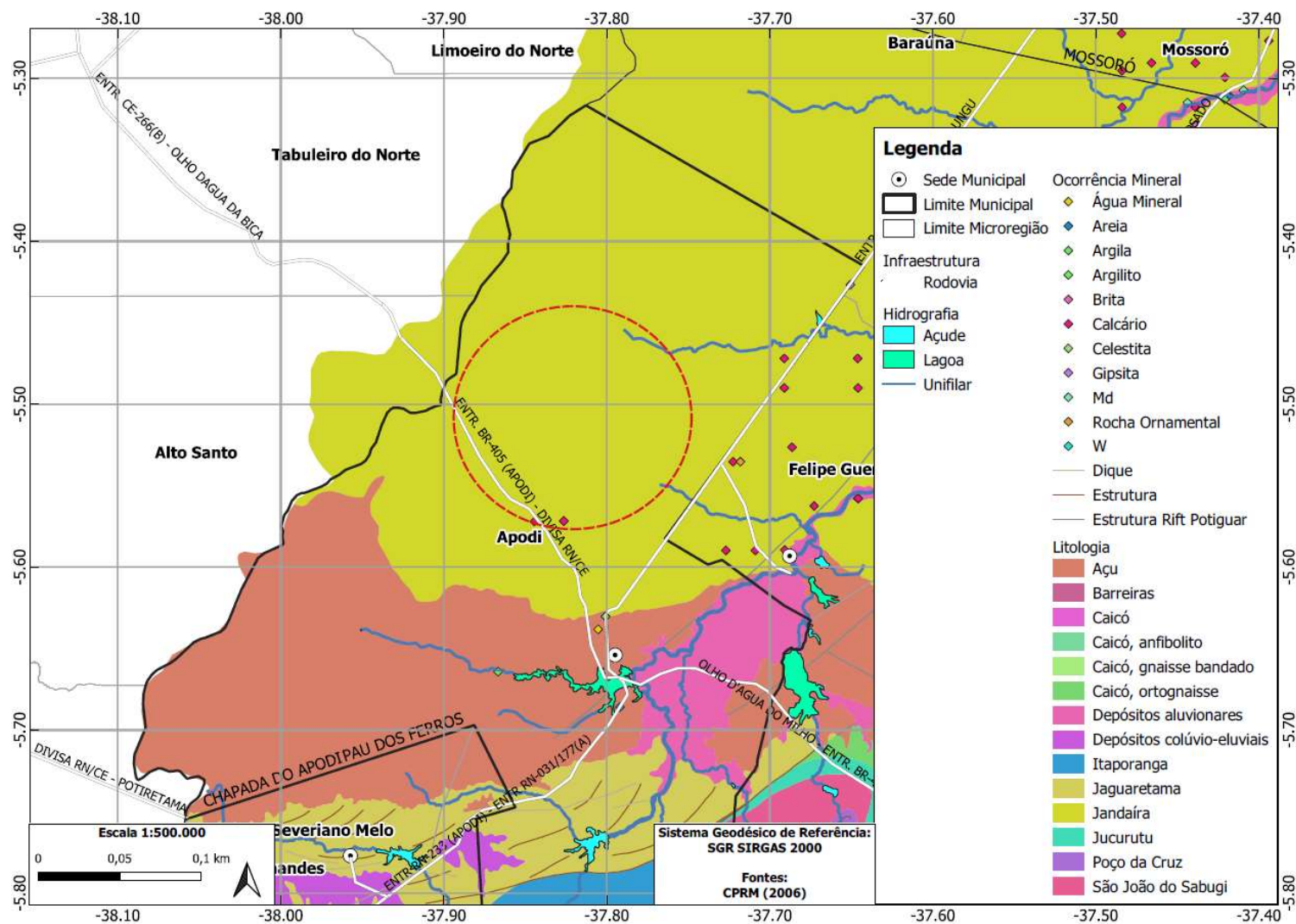
O clima predominante no município de Apodi - RN é do tipo *BSw'h* (classificação de Köppen), caracterizado como muito quente e semiárido. O período chuvoso na região ocorre de março a maio e a precipitação média anual é de cerca de 718 mm. A temperatura média anual é de 28,1 °C, com máxima de 36,0 °C e mínima de 21,0°C, e a média anual da unidade relativa é de 68% com cerca de 2.700 horas de insolação por ano (CPRM, 2005).

Os ventos apresentam direção predominante ESE e SE e são mais intensos no período seco (agosto a novembro), com velocidades que variam localmente de acordo com a rugosidade do relevo. A velocidade média anual na área de estudo (a 50 m de altura) está entre 6,0 e 6,5 m/s (COSERN, 2003).

3.2.2. *Geologia*

O estado do RN está localizado geotecnicaamente na Província Borborema, Subprovíncia Setentrional. O município de Apodi (Mapa 1) abrange terrenos da Bacia Potiguar e Embasamento Cristalino, a sua sede se encontra na faixa de predominância da Formação Açu (Cretáceo Inferior) caracterizada por rochas do tipo arenitos, conglomerados, com intercalações de siltitos sargilitos e folhelhos, de excelente permeabilidade. Nos vales dos Rios Apodi e Umari encontram-se depósitos aluvionares de areias e cascalhos, com intercalações pelíticas, formando planície fluvial, plana, sujeita a inundações periódicas (IDEMA, 2008; CPRM, 2006).

Mapa 1- Litologia do município de Apodi - RN com a área de estudo em destaque (vermelho).



Fonte: CPRM (2006).

Ao sul do município predominam rochas tipo gnaisses, granitos, migmatitos, lentes de calcário metamórfico e anfibolitos, pertencentes ao embasamento cristalino (Pré-Cambriano), onde encontram-se elementos característicos da Formação Pendência, subsuperfície, aflorante ao sul da Bacia Potiguar, composto por arenitos finos, argilosos, intercalados silticos e folhelhos ricos em matéria orgânica, depositados em ambientes lacustre associado com deltas progradantes e planícies aluviais.

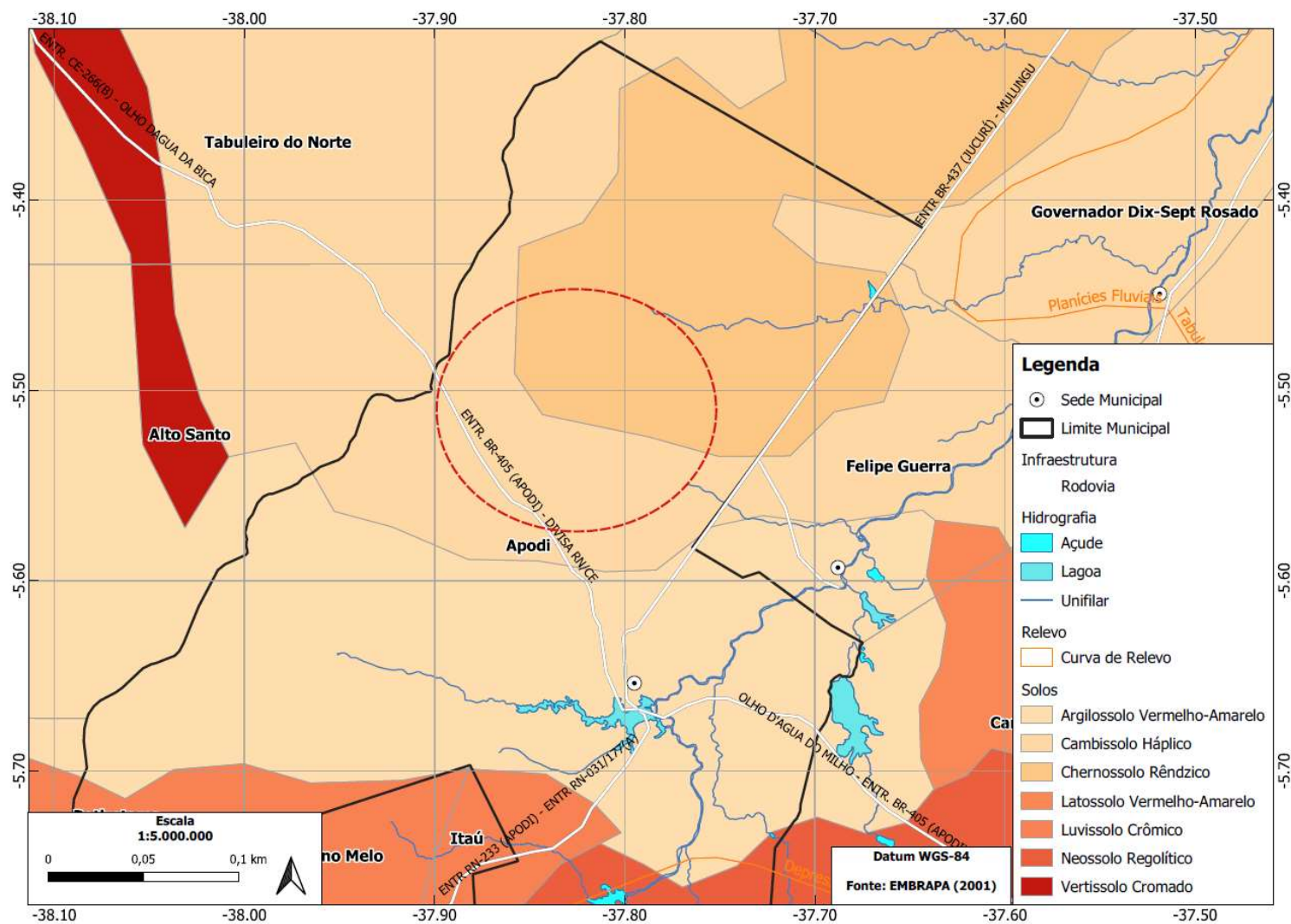
A porção mais ao Norte, da qual faz parte a Chapada do Apodi e onde se encontra a área de estudo, é caracterizada por rochas do tipo calcário sedimentar, folhelhos e argilitos da Formação Jandaíra (Cretáceo Superior), favorecendo a formação de solos menos espessos e mais argilosos.

3.2.3. Solos

Nas regiões do município de Apodi - RN (Mapa 2) que apresentam relevo suave e ondulado (menos de 100 m de altitude) predominam solos Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, bem ou moderadamente drenados, com fertilidade média a alta e textura média. Nas regiões do município com relevo plano são encontrados dois tipos de solos com fertilidade alta e textura argilosa: Cambissolo Eutrófico, bem a moderadamente drenados, e Rendzina, moderada e imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2001; IDEMA, 2008).

Os solos na Chapada do Apodi são predominantemente Cambissolos e bastante heterogêneos, derivados de rochas calcárias da formação geológica Jandaíra. Possuem elevada fertilidade natural e teores de minerais primários, e apresentam textura variando de franco arenosa a muito argilosa e drenagem variada (GONDIM, 2018).

Mapa 2 – Solos do município de Apodi - RN com a área de estudo em destaque (vermelho).



Fonte: EMBRAPA (2001).

3.2.4. Hidrogeologia

O município de Apodi é caracterizado pela presença de três aquíferos (Mapa 3) principais. O Aquífero Açú é o mais profundo e ocorre numa faixa que acompanha a borda da bacia Potiguar, com espessura média de 150 m na área de afloramento. Apresenta suave mergulho e aumento gradativo de espessura para Norte até 500 m, em subsuperfície. De constituição predominantemente arenosa, com arenitos grossos, médios e finos, é sobreposto pelos calcários da Formação Jandaíra. É livre na sua faixa de afloramento, com vazão de 10 m³/h, enquanto na subsuperfície sua vazão pode atingir 400 m³/h. As águas em geral são de boa qualidade e não apresentam limitações para consumo humano, animal, uso industrial e agrícola (CPRM, 2014; IDEMA, 2008; TROLEI; SILVA, 2018).

O Aquífero Jandaíra é composto predominantemente por calcários, apresentando geralmente água salobra e com composição química favorável para a pequena irrigação. Também constitui aquífero livre ou confinado com vazões que variam de 10 a 100 m³/h e poços com profundidade média de 8 m (IDEMA, *op. cit.*; TROLEI; SILVA, *op. cit.*).

O Aquífero Cristalino, com composição geológica relacionada às rochas do embasamento cristalino, é limitado tanto em quantidade devido às baixas vazões quanto em qualidade, devido aos altos teores de salinidade (IDEMA, *op. cit.*; TROLEI; SILVA, *op. cit.*).

Presente de forma dispersa na região podemos encontrar o Aquífero Aluvião que ocorre em faixas de largura entre 50 e 400 m ao longo de rios e riachos de maior porte, sendo constituído por sedimentos depositados nos leitos e terraços. Possui alta permeabilidade e boas condições de realimentação e uma profundidade média em torno de 7 metros. A qualidade da água geralmente é boa (IDEMA, *op. cit.*; TROLEI; SILVA, *op. cit.*).

Na área objeto deste estudo, localizada na Chapado do Apodi no município de Apodi, existem cerca de 230 poços de captação de água subterrânea registrados (SIAGAS/ CPRM, 2020). Desse total apenas 137 apresentam dados de nível estático, que variam de 1 a 117 m (mediana de 26,6 m), e 112 poços com dados de vazão de estabilização, entre 0,3 a 9 m³/h (mediana de 1,8 m³/h).

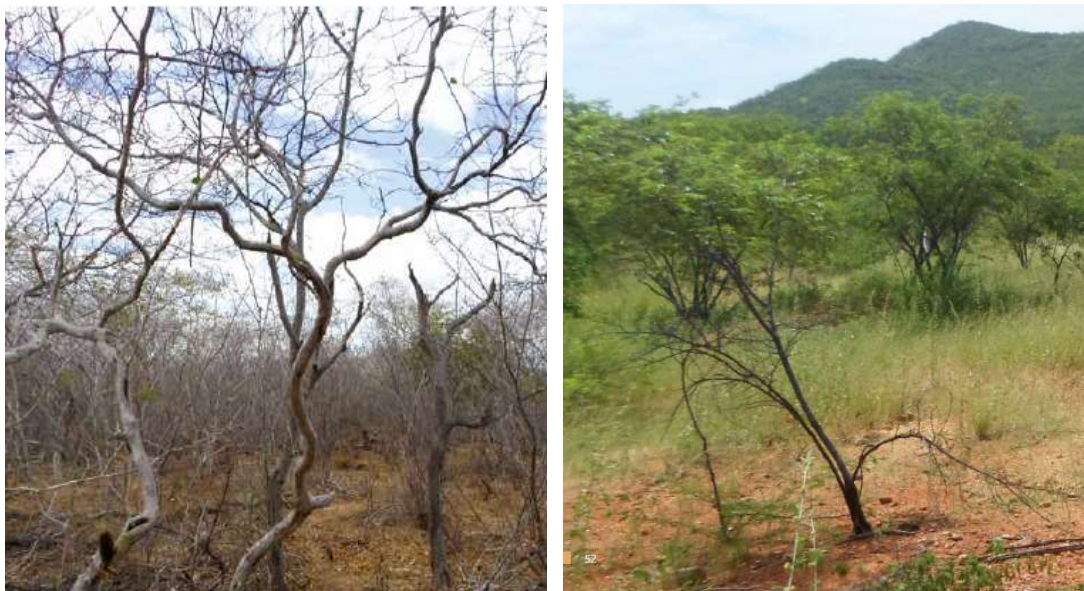
3.2.5. Hidrografia

O município de Apodi - RN encontra-se inserido na bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró. Na região predominam os rios e riachos intermitentes, que podem se tornar permanentes nos trechos próximos aos açudes e barragens (SILVA; BEZERRA, 2020). Especificamente na área de estudo, Na área de estudo existem poucos riachos intermitentes e inexistem cursos d'água permanentes.

3.3. Flora

A área coberta por florestas no RN corresponde a 42% do seu território. A savana-estépica (caatinga) (Figura 2) é a tipologia florestal predominante (92%), dividida em três subtipos: florestada (6,8%), arborizada (84,5%) e parque (1,0%). A microrregião da Chapada do Apodi está entre aquelas que possuem maior cobertura florestal, com 57% da sua área coberta por florestas naturais (não plantadas) (SFB, 2018).

Figura 2 – Savana-estépica (caatinga) é a tipologia florestal predominante no Rio Grande do Norte (RN).



Fonte: SFB (2018).

O estoque de biomassa viva dos indivíduos com Diâmetro a Altura do Peito (DAP) > 5 cm acima do solo nas florestas no RN foi estimado em cerca de 16 t.ha⁻¹ (7,8 t.ha⁻¹ de C), e

abaixo do solo (raízes de árvores) em 4,8 t.ha⁻¹ (2,4 t.ha⁻¹ de C). A quantidade de biomassa morta é significativa, correspondendo a cerca de 3 t.ha⁻¹ (1,4 t.ha⁻¹ de C) de árvores (DAP > 5 cm) mortas em pé e 1,4 t.ha⁻¹ (0,7 t.ha⁻¹ de C) de madeira caída no solo. O solo é o maior sumidouro de carbono, com aproximadamente 36 t.ha⁻¹ na profundidade de 0-20 cm e 31 t.ha⁻¹ entre 30-50 cm (SFB, op. cit.).

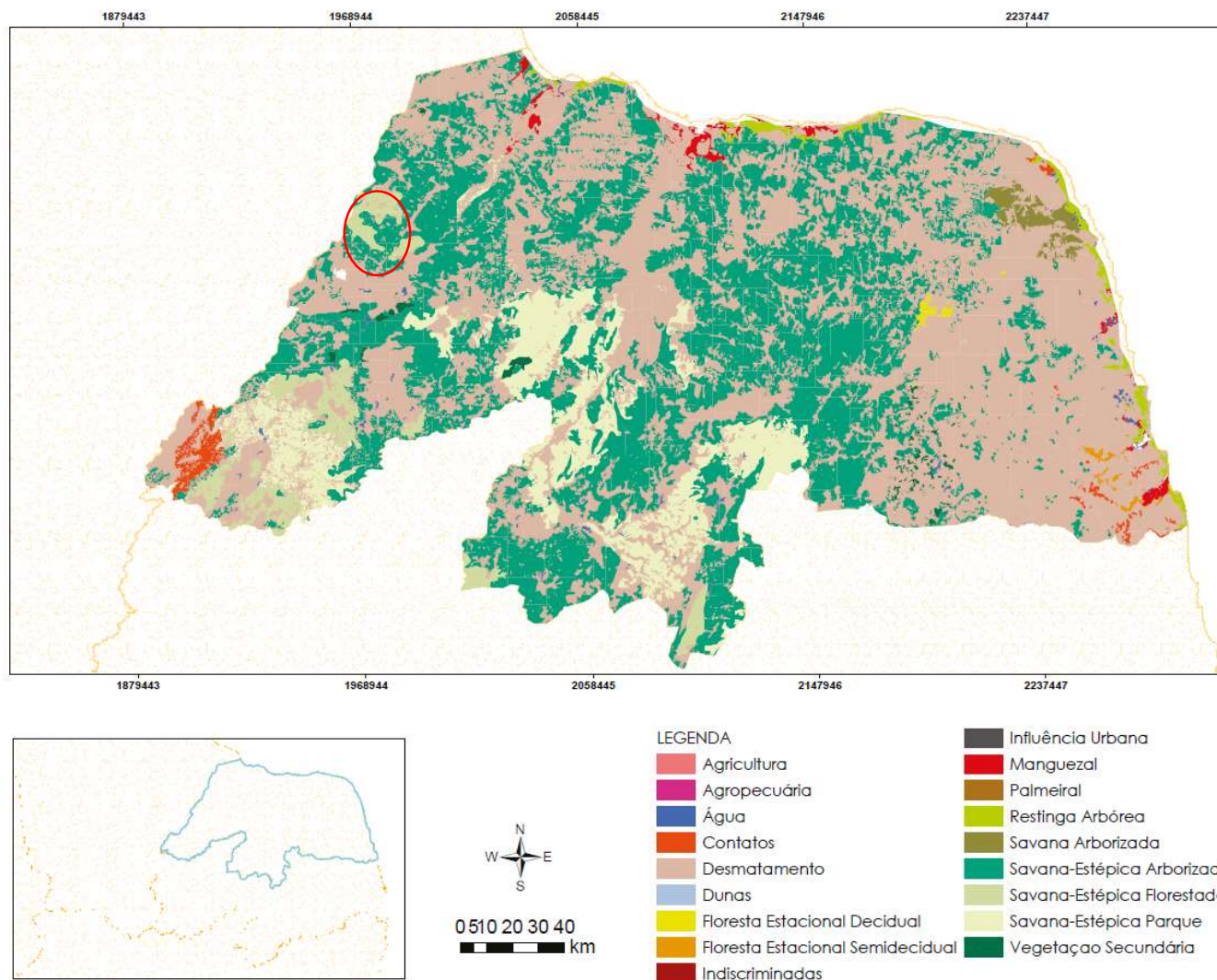
Na área de estudo as coberturas do solo (Mapa 4) predominantes são a savana-estépica arborizada e vegetação secundária (áreas alteradas em processo de regeneração), e a agricultura (SFB, op. cit.). A savana-estépica arborizada tem estrutura baseada em dois estratos, sendo um superior com predominância de espécies decíduas (perdem as folhas no período seco) profusamente esgalhadas e espinhosas ou aculeadas, geralmente com indivíduos de pequeno porte esparsamente distribuídos, e um estrato inferior gramíneo-lenhoso bem distribuído e de relevante importância fitofisionômica (IBGE, 2012b; SFB, op. cit.).

Na Caatinga existem aproximadamente 5.311 espécies de plantas, sendo pelo menos 1.547 endêmicas, encontradas apenas nesse bioma (ASSOCIAÇÃO CAATINGA, 2020). As principais espécies presentes na região incluem o xique-xique (*Pilosoceurus gounellei*), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), mofumbo (*Combretum lanceolatum*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), mandacaru (*Cereus jamcaru*) juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), macambira (*Bromelia laciniosa*) e jurema (*Mimosa sp.*) (GONDIM, 2018; IBGE, 2012b; IDEMA 2008; SFB, 2018).

A população do meio rural utiliza diversas espécies da Caatinga no seu cotidiano, como troncos e galhos da jurema (*Mimosa tenuiflora*) e do marmeleiro (*Croton blanchetianus*) para energia e moirões de cerca, casca da ameixa-do-mato (*Ximenia americana*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), cumaru (*Amburana cearensis*) e quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*) com fins medicinais, além de raízes, sementes, resinas, óleos e cipós (SFB, 2018).

Diversos frutos servem de alimento para animais e a população local, como aqueles do umbuzeiro, juazeiro, umarizeiro, quixabeira, mandacaru, maracujá-da-caatinga, cajueiro, jenipapo e da palmeira licuri. E muitas espécies servem como fonte de alimento e de abrigo para polinizadores e predadores naturais de pragas de culturas agrícolas, e de abelhas melíferas (ISPN, 2020).

Mapa 4 - Vegetação e uso do solo do Rio Grande do Norte, com a área de estudo em destaque.



Fonte: SFB (2018).

3.4. Fauna

A Caatinga é rica em biodiversidade e abriga pelo menos 1.307 espécies animais, sendo 327 encontradas apenas nesse bioma (ICMBIO, 2018). Cerca de um terço das espécies de aves registradas são endêmicas, assim como metade das espécies de peixes e 15% das espécies de anfíbios, e 22 das 114 espécies de serpentes. Entre as 150 espécies de mamíferos registradas, 10 são encontradas apenas na Caatinga. Esse número provavelmente está subestimado, sendo necessário intensificar os levantamentos de fauna na região principalmente com os grandes grupos, como morcegos e roedores (ASSOCIAÇÃO CAATINGA, 2020; MARQUES et al., 2017).

A maior ameaça à biodiversidade da Caatinga é a perda de habitats devido à atividade antrópica, principalmente a atividade agropecuária. Existem 125 espécies ameaçadas de extinção (Figura 3) nesse bioma, sendo 47 endêmicas e 78 não endêmicas (ICMBIO, 2018). Exemplos são a ararinha-azul (*Anodorhynus spix*), arara-azul-de-lear (*Anodorhynus leari*), periquitos-cara-suja (*Pyrrhura griseipectus*), onça-parda (*Puma concolor*), tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*), tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*), jacaré-coroa (*Paleoschus palpebrosus*) e a cobra-dos-brejos (*Atractus ronnie*) (ASSOCIAÇÃO CAATINGA, 2020; ICMBIO, 2018; ISPN, 2020; MARQUES et al., 2017).

Figura 3 – Espécies da fauna da Caatinga ameaçadas de extinção: ararinha-azul (*Anodorhynus spix*) e tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*).



Fonte: ICMBIO (2020).

Entre os invertebrados, existem pelo menos 23 espécies da Caatinga ameaçados de extinção (ICMBIO, 2018). Um dos grupos mais importantes é o das abelhas, responsável pela polinização de grande parte das espécies de plantas e manutenção da qualidade e diversidade dos ecossistemas. A maioria das 187 espécies encontradas na Caatinga são consideradas raras, e entre as mais conhecidas estão a jandaíra (*Melipona subnitida*), irapuã (*Trigona spinipes*), amarela (*Melipona rufiventris*), munduri (*Melipona asilvae*) e a espécie introduzida européia (*Apis mellifera*). Muitas nidificam em árvores como a imburana (*Commiphora leptophloeos*), catingaueira (*Poincianella bracteosa*) e o angico (*Anadenanthera colubrina*), e dependem de espécies que florescem na seca para alimentação, como angico, aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) cajueiro (*Anacardium occidentale*) umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) carnaubeira (*Copernicia prunifera*) e o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) (MAIA-SILVA et al., 2012).

4. MÉTODO

A elaboração do MCA como suporte à realização de ARSH e ARE da implantação de projeto de fruticultura irrigada na Chapada do Apodi – RN foi realizada conforme as diretrizes estabelecidas pela resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009), a Decisão de Diretoria nº 38 da CESTESB (CETESB, 2017), e as normas ABNT NBR 16209 (ABNT, 2013b) e ABNT NBR 16210 (ABNT, 2013a).

Devido à inexistência de regulamentação nacional sobre a ARE foram seguidas as mesmas regras estabelecidas para a ARSH, com algumas adequações baseadas nas orientações da USEPA (1997) para a elaboração de Modelo Conceitual como parte da formulação do problema e definição do escopo da ARE.

Na definição das SQI presentes no sedimento dos corpos hídricos foi utilizada como referência a resolução CONAMA nº 454 (CONAMA, 2012), que estabelece as diretrizes e procedimentos para gerenciamento de material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, devido à inexistência de valores de referência com foco no GAC.

Os valores orientadores estabelecidos na resolução CONAMA nº 454 (CONAMA, 2012) tem como objetivo classificar o material que será dragado e disposto em água doce e ou salobra/salina, de acordo com a menor (nível 1) ou maior (nível 2) probabilidade de causar efeitos adversos à biota. Para concentrações acima dos valores de referência do nível 1 são necessários ensaios de ecotoxicidade e consideradas avaliações de bioacumulação.

Para a elaboração do MCA e a partir das informações disponíveis, foram inicialmente identificadas e definidas as fontes de contaminação, as SQI e respectivas vias de transporte no meio ambiente, e os receptores e vias de exposição aos contaminantes. Posteriormente os caminhos de exposição foram descritos e representados graficamente para as duas abordagens, da ARSH e ARE.

5. RESULTADOS

As fontes primárias de contaminação, vias de transporte e vias de exposição são as mesmas para a ARSH e ARE, e as SQI e grupos de receptores diferem nas duas abordagens. Os caminhos de exposição são semelhantes, apresentamos considerações adicionais para a abordagem da ARE e a proposição de parâmetros de avaliação.

5.1. Fontes de contaminação

No cenário de implantação de um projeto de fruticultura irrigada na Chapada do Apodi – RN, em uma paisagem de agricultura familiar de base agroecológica, foram identificadas três fontes primárias de contaminação: 1) agrotóxicos pulverizados no controle de pragas e doenças; 2) fertilizantes aplicados misturados no solo ou a lanço; e 3) local de armazenamento de produtos e lavagem de equipamentos utilizados na aplicação de agrotóxicos e fertilizantes.

As matrizes ambientais que podem receber e acumular SQI e posteriormente servirem de fonte secundárias de contaminação, são: ar, solo, aquíferos, corpos hídricos superficiais, águas armazenadas.

5.2. Substâncias Químicas de Interesse (SQI)

As SQI são aquelas cujas concentrações ultrapassam os valores de referência estabelecidos para cada compartimento ambiental, com foco nos grupos químicos presentes nos agrotóxicos e as concentrações de íons metálicos potencialmente tóxicos.

A resolução CONAMA 420 (CONAMA, 2009) estabelece os valores de referência para solos de acordo com o seu uso, e para água subterrânea calculados com base em risco à saúde humana. Neste estudo devem ser considerados os valores de solos para uso agrícola, sendo utilizados os limites de prevenção para ARE e os limites de intervenção para ARSH.

Para águas superficiais são utilizados os valores de referência da resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005), de acordo com a classificação e uso do corpo hídrico. Para os sedimentos de fundo os valores orientadores são aqueles estabelecidos pela CONAMA 454 (CONAMA, 2012) para disposição em água, também de acordo com a sua classificação. Para

concentrações nos sedimentos acima do nível 1, deverão ser realizados ensaios ecotoxicológicos e análise de bioacumulação.

Para a ARSH também devem ser consideradas como SQI as substâncias presentes nos agrotóxicos e encontradas nos alimentos (plantas e produtos de origem animal) com concentrações acima de Limite Máximo de Resíduos (LMR) estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2012).

As concentrações das SQI identificadas através dos valores de referência também devem ser comparadas com os valores de background local ou regional para identificação daquelas que são de ocorrência natural (origem litológica) e não decorrentes da contaminação, e para interpretação do possível comportamento dos contaminantes no ambiente.

No momento da amostragem para determinação das SQI devem ser coletadas amostras testemunho de solos em locais que não foram impactados por agrotóxicos e fertilizantes, preferencialmente sob vegetação nativa, e suficientemente próximos da área de estudo para que sejam representativas das condições locais. No caso das águas subterrâneas e cursos d'água superficiais, devem ser coletadas a montante.

5.3. Vias de transporte

Os mecanismos de transporte das SQI mais relevantes são a dispersão atmosférica, a infiltração no solo e a lixiviação. Gotículas de agrotóxicos originadas da pulverização e partículas de fertilizantes aplicados a lanço são carregadas pelo vento, e os produtos aplicados sobre o solo ou posteriormente depositados podem infiltrar no solo e serem lixiviados até os aquíferos.

As partículas de solo próximas à superfície com SQI adsorvidas podem ser carregadas pelo vento (dispersão atmosférica) para outras áreas e através do escoamento superficial para corpos hídricos superficiais.

5.4. Receptores

Na abordagem da ARSH, foram identificados três grupo de receptores em potencial: 1) trabalhadores do projeto de fruticultura irrigada; 2) residentes do entorno (adultos e crianças); e 3) consumidores (adultos e crianças) dos produtos da fruticultura irrigada e agroecológicos produzidos no entorno.

As plantas e animais domésticos e silvestres foram considerados como receptores intermediários, uma vez que se estiverem contaminados e forem consumidos como alimento podem oferecer risco aos receptores finais.

Os grupos de receptores identificados na abordagem para ARE foram: 1) biota do solo, principalmente comunidades de microrganismo e invertebrados; 2) vegetação nativa, em todas as suas formas e diversidade; e 3) fauna silvestre, que inclui todos os grupos e espécies de vertebrados e invertebrados não domesticados.

5.5. Vias de exposição

A inalação e o contato dérmico são as principais vias de exposição dos receptores da às SQI no momento da preparação e aplicação dos produtos. A exposição às fontes secundárias (matrizes ambientais contaminadas) pode ocorrer através do contato dérmico e inalação, mas principalmente através da ingestão de água e solo contaminado.

A ingestão de alimentos contaminados de origem vegetal e animal (peixes, mel, leite, ovos e carne) também constitui importante via de exposição.

A exposição das plantas às SQI ocorre principalmente através do contato direto com os produtos aplicados e depositados sobre as folhas, galhos e caules, e da absorção pelas raízes das SQI presentes no solo, assim como pelo contato com água contaminada utilizada na irrigação.

Os animais domésticos ou silvestres podem ser contaminados através do contato direto com o produto, ou através da aspiração de ar contaminado e ingestão de plantas, água, solo e outros animais contaminados.

5.6. Modelo Conceitual para ARSH

Os caminhos de exposição que compõe o MCA estão descritos abaixo a partir de cada uma das fontes primárias de contaminação, sob a abordagem da ARSH (Figura 4).

A discussão sobre os caminhos de exposição, impactos e receptores inseridos na ARE será apresentada em seguida.

5.6.1. Fonte primária: agrotóxicos pulverizados no controle de pragas e doenças

O produto aplicado com pulverizador diretamente sobre as plantas pode permanecer aderido e posteriormente ser absorvido, escorrer para o solo e infiltrar, ser lixiviado para aquíferos subterrâneos, ou ficar aderido a partículas de solo que são carregadas para outras áreas através do vento ou para corpos hídricos através do escoamento superficial.

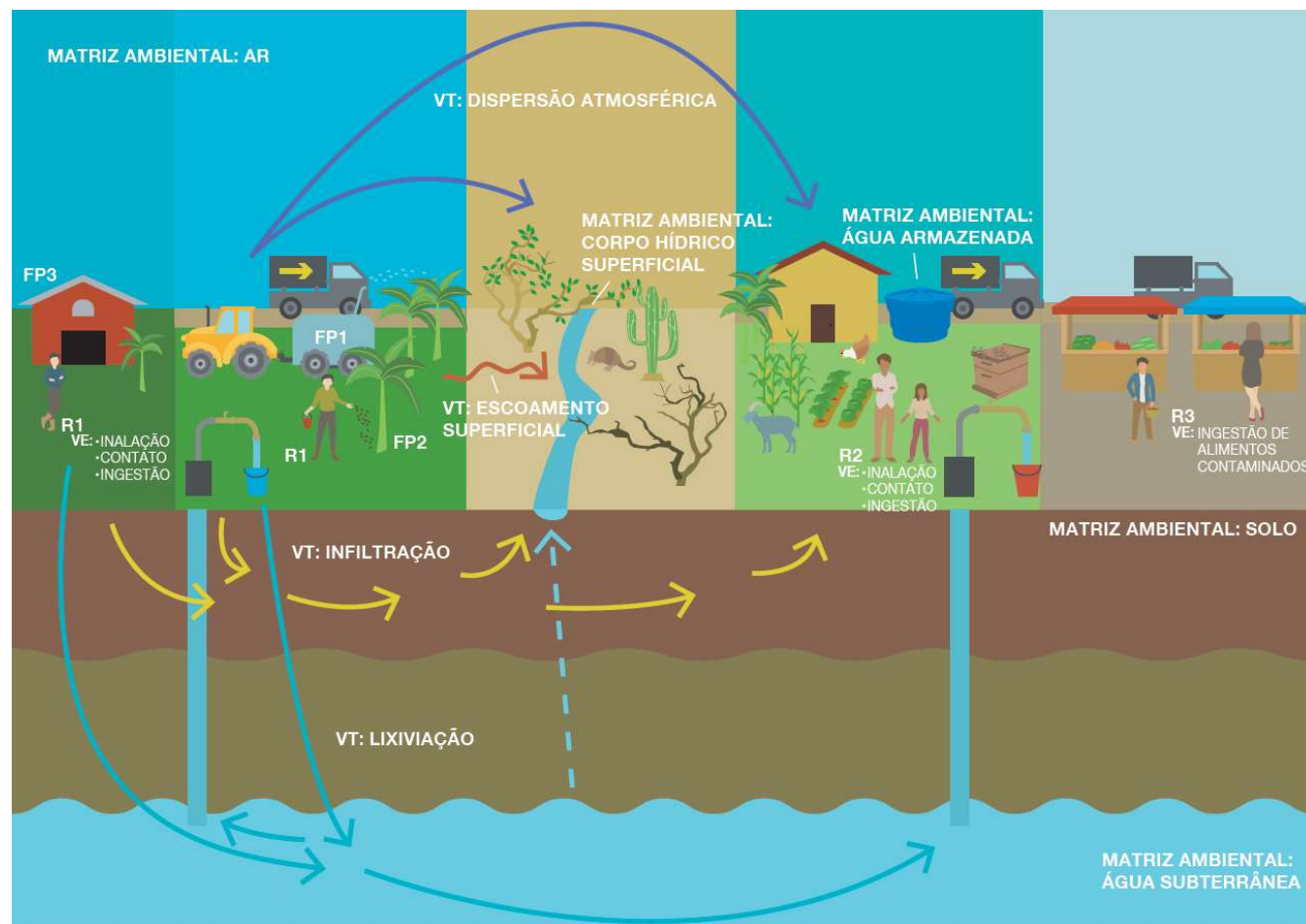
As gotículas de agrotóxicos da pulverização podem sofrer o fenômeno da deriva e serem transportadas pelo vento (emissão atmosférica), e posteriormente depositadas sobre diferentes superfícies. As distâncias em que as gotículas são carregadas a partir da fonte dependem do equipamento utilizado, das condições ambientais no momento da aplicação e da altura em relação ao alvo.

A aplicação de agrotóxicos utilizando pulverizadores pode contaminar o ar, solos, aquíferos, corpos hídricos superficiais e águas armazenadas em cisternas, tanques e pequenas barragens, que se tornam fontes secundárias de contaminação.

As plantas podem entrar em contato com as SQI através do contato direto no momento da aplicação, ou através das matrizes ambientais contaminadas como ar, solo e água. Os animais domésticos ou silvestres também podem ser contaminados através do contato direto, inalação das gotículas de agrotóxicos ou através da ingestão de plantas, água, solo e outros animais contaminados.

Alguns grupos químicos de agrotóxicos (p.ex. organoclorados e DDT) se acumulam em células gordurosas e provocam os fenômenos da bioacumulação e biomagnificação, com aumento da concentração dos contaminantes ao longo da cadeia alimentar conforme aumenta o nível trófico. Elementos-traço presentes nos fertilizantes e agrotóxicos também permanecem acumulados nos tecidos vivos e podem atingir níveis de toxicidade, afetando toda a cadeia alimentar.

Figura 4: Modelo Conceitual da Área (MCA) de implantação do projeto de fruticultura irrigada na Chapada do Apodi - RN em uma paisagem de propriedades familiares voltadas para produção de base agroecológica, com abordagem para Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH).



Legenda: Fontes Primárias: FP1 - Agrotóxicos pulverizados. FP2 - Fertilizantes aplicados no solo, FP3 - local de armazenamento de produtos e lavagem de equipamentos. Vias de Transporte: VT. Receptores: R1 - trabalhadores da fruticultura, R2 - população no entorno, R3 - consumidores produtos agrícolas. Vias de Exposição: VE. Fonte: ADAMS (2020).

Os trabalhadores (receptores do grupo 1) podem ter contato direto com os produtos no momento da sua preparação e na aplicação, aspirarem as gotículas dispersas no ar durante a pulverização e ingerirem água, solo e alimentos contaminados. Os moradores no entorno (receptores do grupo 2) podem ser expostos aos produtos através do contato e aspiração das gotículas da pulverização, e da ingestão de água, partículas de solo, plantas e produtos de origem animal contaminados. O terceiro grupo de receptores, constituído pelos consumidores dos produtos (vegetais e de origem animal) da região, podem ser expostos às SQI através da ingestão de alimentos contaminados.

5.6.2. Fonte primária: fertilizantes aplicados misturados no solo ou a lanço

Os mecanismos de transporte das SQI presentes nos fertilizantes aplicados diretamente no solo e a lanço são os mesmos identificados na aplicação dos agrotóxicos: emissão atmosférica, infiltração no solo, lixiviação para solo subsuperficial e aquíferos, e transporte através do vento e escoamento superficial para outras áreas e corpos hídricos adsorvido a partículas de solo.

No entanto, como a maior parte dos fertilizantes é aplicado no solo (misturado ou a lanço) na forma sólida e suas partículas são mais pesadas que as gotículas da pulverização, o mecanismo de transporte da emissão atmosférica tem menor importância relativa, assim como o ar como fonte secundária de contaminação e a inalação de partículas como caminho de exposição.

O solo, aquíferos e corpos hídricos superficiais constituem as principais fontes secundárias de contaminação, ainda que o ar e águas armazenadas sem proteção também possam acumular SQI. Algumas espécies de plantas podem acumular íons tóxicos e eventualmente servirem como fonte de contaminação. Os animais estão expostos através o contato dérmico com o produto e a ingestão de alimentos (plantas e invertebrados), água e solo com concentrações da SQI, mas apresentam baixo potencial como fonte de contaminação.

As vias de exposição dos receptores dos grupos 1 e 2 são as mesmas das SQI dos agrotóxicos pulverizados como fonte primária de contaminação: inalação (partículas no ar), ingestão (água, solo e plantas contaminadas) e contato dérmico (água e solo). Para o grupo 1,

consideramos também a ingestão e contato dérmico com o produto durante a sua preparação e aplicação. A única via de exposição considerada para os receptores do grupo 3 foi a ingestão de plantas contaminadas.

5.6.3. Fonte primária: locais de armazenamento de produtos e lavagem de equipamentos utilizados na aplicação de agrotóxicos e fertilizantes

Os mecanismos de transporte das SQI presentes nos produtos armazenados e na água da lavagem de equipamentos utilizados na aplicação de agrotóxicos e fertilizantes são: infiltração no solo, lixiviação para solo subsuperficial e aquíferos, e transporte adsorvidas a partículas de solo através do vento e do escoamento superficial.

A área diretamente impactada por essa fonte primária de contaminação fica restrita aos locais onde os produtos e equipamentos são armazenados e lavados, e onde se espera encontrar altas concentrações das SQI. Além do solo e águas subterrâneas ou superficiais, as plantas e animais no entorno que tiverem contato com os produtos e água contaminada através de contato ou ingestão também podem ser contaminados.

Os caminhos de exposição para os receptores do grupo 1 são o contato dérmico e aspiração no momento da manipulação e lavagem, a ingestão da fonte primária (água da lavagem) ou secundárias (água, solo) de contaminação, e a ingestão de alimentos contaminados. Os moradores do entorno, incluídos no grupo 2, estão expostos às SQI presentes nas fontes secundárias através da ingestão ou contato dérmico. Devido ao impacto espacialmente restrito dessa fonte primária de contaminação, o grupo 3 não foi incluído entre os potenciais receptores.

5.7. Caminhos de exposição na ARE

Embora os caminhos de exposição considerados na abordagem da ARE (Figura 5) sejam similares aos da ARSH, apresentamos alguns aspectos que devem ser incorporados nessa avaliação.

A biota presente no solo é imediatamente impactada pelo contato e ingestão de agrotóxicos e fertilizantes. O equilíbrio natural dos processos biológicos, químicos e físicos presentes é afetado pela redução na biodiversidade e alterações nas condições ambientais,

comprometendo diversos serviços (visão ecossistêmica) providos pelo solo. Os agrotóxicos e fertilizantes desencadeiam uma série de reações e processos que afetam diretamente as plantas, fauna, águas subterrâneas e superficiais, e a própria produtividade agrícola. Os efeitos negativos normalmente são percebidos apenas a médio e longo prazo.

Os agrotóxicos e fertilizantes aplicados diretamente nas plantas (produtor primário) ou trazidos pelo vento são absorvidos principalmente através das folhas e raízes, onde podem sofrer reações químicas, serem eliminados ou permanecerem acumulados no tecido vegetal. Os invertebrados e vertebrados (consumidores primários) que consomem essas plantas podem entrar em contato e absorver as substâncias químicas depositadas na superfície, ou ingeri-las através de tecido vegetal contaminado. Estes consumidores primários, por sua vez, podem servir de alimento para outros consumidores (secundários) da cadeia trófica e, dependendo do contaminante e receptor ecológico, favorecer a ocorrência dos processos de bioacumulação e biomagnificação.

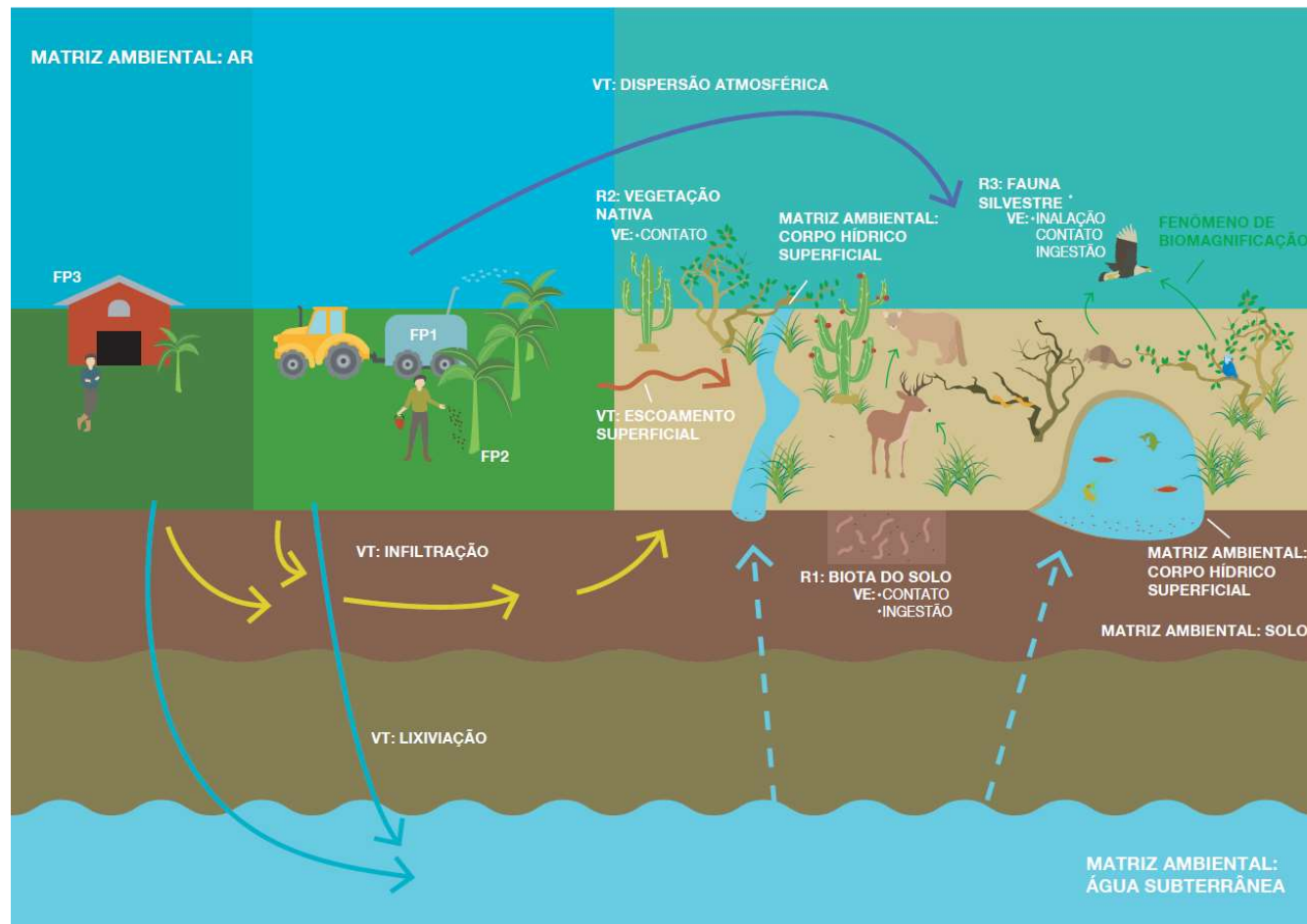
As plantas também absorvem através das suas raízes os agrotóxicos e fertilizantes excedentes presentes no solo, originados da deposição ou aplicação direta dos produtos, do escoamento das plantas, ou da água oriunda dos locais de armazenamento e lavagem de equipamentos.

As gotículas de agrotóxicos carregadas pelo vento podem ser ingeridas ou absorvidas através do contato direto com vertebrados e invertebrados e, assim como partículas de solo contaminado, inaladas por vertebrados ou depositadas em corpos hídricos superficiais e locais de armazenamento de água como cisternas, tanques, ou pequenas barragens.

A utilização de águas contaminadas (subterrâneas, superficiais ou armazenadas) na irrigação pode (re)contaminar solos, plantas, vertebrados e invertebrados terrestres.

A fauna e flora aquática estão expostos à contaminação através do contato e ingestão de água contaminada e de sedimentos de fundo, que normalmente acumulam contaminantes e apresentam concentrações mais altas do que aquelas presentes na água.

Figura 5: Modelo Conceitual da Área (MCA) de implantação do projeto de fruticultura irrigada na Chapada do Apodi - RN em uma paisagem de propriedades familiares voltadas para produção de base agroecológica, com abordagem para Avaliação de Risco Ecológico (ARE).



Legenda: Fontes Primárias: FP1 - Agrotóxicos pulverizados. FP2 – Fertilizantes aplicados no solo, FP3 – local de armazenamento de produtos e lavagem de equipamentos. Vias de Transporte: VT. Receptores: R. Vias de Exposição: VE. Fonte: ADAMS (2020).

5.8. Parâmetros de avaliação na ARE

Os parâmetros de avaliação devem representar valores ambientais que sejam relevantes no contexto da área estudada, e que necessitam ser protegidos. Devem ser mensuráveis e replicáveis.

Os parâmetros (Quadro 4) aqui propostos estão separados por compartimento e representam os processos ambientais mais prováveis de interagirem e serem afetados pela presença das SQI, ou representam características ambientais relevantes e que devem ser protegidas.

As características físico-químicas do solo, águas subterrâneas, sedimentos de fundo e águas superficiais permitem a previsão do comportamento das SQI nesses compartimentos, e quais os impactos potenciais.

Os teores de matéria orgânica e respectivas taxas de degradação, assim como a diversidade de macro e mesofauna presentes no solo, indicam a intensidade e qualidade da atividade biológica e o potencial de degradação de contaminantes e de resiliência desse compartimento.

A determinação da ecotoxicidade de solos, sedimentos de fundo e águas através de ensaios com diferentes concentrações de SQI permitem a identificação de limites de concentração toleráveis de acordo com as condições locais e em cada compartimento.

Os parâmetros de avaliação da vegetação nativa e fauna silvestre tem como objetivo garantir a proteção de ecossistemas e espécies sensíveis e ameaçadas de extinção, e identificar possíveis indicadores da saúde ambiental.

A compreensão dos grupos funcionais presentes na flora e fauna, assim como do balanço entre os diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar, indica a capacidade de resiliência dos ecossistemas e permite inferir sobre os impactos da presença das SQI.

Os polinizadores, que incluem as abelhas e normalmente são bastante sensíveis aos agrotóxicos, exercem papel fundamental na manutenção de ecossistemas e na produtividade agrícola. No contexto da Chapada do Apodi – RN, a produção de mel agroecológico é um dos destaques e constitui importante fonte de renda dos agricultores familiares.

Quadro 4 - Parâmetros de avaliação para a Avaliação de Risco Ecológico (ARE) da implantação do projeto de fruticultura voltada para exportação na Chapada do Apodi - RN em uma paisagem de propriedades familiares voltadas para produção de base agroecológica.

Compartimento	Parâmetros
Solo e sedimentos de fundo	1. Características físico-químicas e conteúdo de matéria orgânica (MO). 2. Diversidade da macro e mesofauna presente na cama superficial. 3. Teor de matéria orgânica. 4. Atividade biológica (taxas de degradação de MO) na camada superficial. 5. Ecotoxicidade sob diferentes concentrações de SQL.
Águas subterrâneas e superficiais	6. Características físico-químicas. 7. Ecotoxicidade sob diferentes concentrações de SQL.
Vegetação nativa	8. Diversidade de espécies e grupos funcionais. 9. Presença de espécies sensíveis ou ameaçadas de extinção. 10. Presença de espécies indicadoras da saúde ambiental do ecossistema.
Fauna silvestre	11. Diversidade de espécies e grupos funcionais. 12. Presença de espécies sensíveis ou ameaçadas de extinção. 13. Diversidade de espécies polinizadoras. 14. Presença de espécies indicadoras da saúde ambiental dos ecossistemas.
Ecossistemas	15. Sustentabilidade da cadeia alimentar.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento realizado identificou diversos trabalhos que abordam o conflito na região entre os sistemas de produção de agricultura de base agroecológica e os empreendimentos de fruticultura voltados para exportação baseados na agricultura tradicional. Nesses trabalhos a questão do uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes e impactos sobre a saúde humana é abordada com frequência, principalmente através de estudos de caso e relatos de experiências locais.

Os dados sobre flora e fauna são basicamente aqueles descritos para o bioma Caatinga, existem poucos levantamentos locais e estão focados em grupos específicos.

As informações disponíveis sobre o meio físico estão normalmente em escala regional. Existem poucos estudos de caracterização da qualidade de solos, águas subterrâneas e superficiais, que são pontuais e restritos a determinados objetivos e parâmetros. Não existem valores de background estabelecidos para essa região.

Para a realização de ARSH recomendamos a coleta de dados complementares em campo que permitam uma melhor caracterização do meio físico local. Adicionalmente para a ARE, também devem ser realizados levantamentos botânicos e de fauna nos diferentes ecossistemas, incluindo solos e ambientes aquáticos, com a mesma finalidade.

O MCA foi elaborado sob a perspectiva de um contexto futuro de exposição a contaminantes, seguindo as diretrizes do GAC e como suporte para a realização de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) e de Avaliação de Risco Ecológico (ARE). As abordagens se mostraram complementares e permitiram a definição dos possíveis cenários futuros de exposição aos contaminantes.

Duas (pulverização de agrotóxicos e aplicação de fertilizantes) entre as três fontes primárias de contaminação identificadas estão relacionadas às atividades rotineiras de um empreendimento de fruticultura voltada para exportação, e fazem parte de um pacote tecnológico amplamente adotado na agricultura tradicional.

As Substâncias Químicas de Interesse (SQI) e seus efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente são em sua maioria bastante conhecidos, embora em alguns casos a sua causalidade seja de difícil comprovação devido aos efeitos a médio e a longo prazo e, no caso da saúde humana, os sintomas sejam semelhantes aos de outras doenças.

O MCA elaborado reflete um alto potencial de contaminação do meio ambiente e de riscos à saúde humana e ecológica na implantação de um projeto de fruticultura para exportação em uma paisagem de propriedades familiares de produção de base agroecológica no semiárido potiguar. Evidencia também a complexidade e dificuldade de avaliação do comportamento e impactos provocados pela presença de contaminantes no meio ambiente e sobre a saúde.

Na avaliação de projetos desta dimensão e natureza a avaliação dos riscos associados ao uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes tem grande relevância, no entanto existem diversos outros impactos sobre o meio ambiente e comunidades no entorno que não fazem parte do escopo da ARSH e ARE e que devem ser identificados e avaliados em conjunto.

REFERÊNCIAS²

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **ABNT NBR 16210**: modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a. 4 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **ABNT NBR 16209**: avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 40 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 68 p.

ALEXANDRE, S. F. **Exposição a agrotóxicos e fertilizantes químicos: agravos à saúde dos trabalhadores no agronegócio do abacaxi, em Limoeiro do Norte – CE**. 2009. 156 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ANDEF – Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. São Paulo: Linea Creativa, 2004. 50 p.

ASSOCIAÇÃO CAATINGA. Bioma Caatinga. Disponível em: <https://www.acaatinga.org.br/sobre-a-caatinga/>. Acesso em: 26 out. 2020.

AUGUSTO, L.G.S. **A saúde dos trabalhadores e a sustentabilidade do desenvolvimento local**. Recife: Editora Universitária da Universidade Federal do Pernambuco, 2010.

BEDOR, C. N. G. *et al.* Vulnerabilidades e situações de riscos relacionados ao uso de agrotóxicos na fruticultura irrigada. **Revista Bras Epidemiol**, v. 12, n.1, p. 39-49, 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 2**, de 3 de janeiro de 2008. Dispõe sobre as normas de trabalho da aviação agrícola. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2008.

BRASIL. **Resolução - RDC nº 4**, de 18 de janeiro de 2012. Dispõe sobre os critérios para a realização de estudos de agrotóxicos para fins de registro de agrotóxicos no Brasil. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2008.

CASSMAN, K. G. *et al.* Cultivated Systems. In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R; ASH, N. (ed.). **Ecosystems and human well-being: current state and trends : findings of the Condition and Trends Working Group**. Washington: Island Press, 2005. p. 745-794.

CARNEIRO, F. F. *et al.* (org.). **Dossiê ABRASCO**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: Expressão Popular, 2015. 624 p.

CEARÁ. **Lei Estadual nº 16820**, de 8 de janeiro de 2019. Proíbi a pulverização aérea de agrotóxicos. Governo do Estado do Ceará, 2019.

² De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 38, de 7 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas” [...]. **Diário Oficial Estado de São Paulo**: Poder Executivo, seção 1, São Paulo, ano 127, n. 28, p.47-52, 7 fev. 2017.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019. São Paulo: CETESB, 2020. 336 p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento [...]. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes [...]. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 249, p. 81-84, 30 dez. 2009.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454, de 1 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, Seção 1, p. 66-69, 8 nov. 2012.

CORCINO, C. O. et al. Avaliação do efeito do uso de agrotóxicos sobre a saúde de trabalhadores rurais da fruticultura irrigada. *Ciência da Saúde Coletiva*, v. 24, n. 8, 3117-3128, 2019. DOI 10.1590./1413-81232018248.14422017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232018248.14422017>. Acesso em 1 jul. 2020.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Plano de Gestão Participativa dos Aquíferos da Bacia Potiguar: Estado do Ceará. Fortaleza: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, 2009. 336 p.

COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte. **Potencial eólico do estado do Rio Grande do Norte**. COSERN/ANEEL, 2003. 44 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: diagnóstico do município de Apodi, estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala 1:500.000. 2006. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 13 dez. 2020.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo**. Escala 1:500.000. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>. Acesso em: 13 dez. 2020.

Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo. CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2014. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <
<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>>. Acesso em: 13/12/2020

CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciênc Agrotec**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, set/out. 2008.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Marco referencial em agroecologia**. Brasília: EMBRAPA, 2006. 70 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Mapa de Solos do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php. Acesso em: 13 dez. 2020.

FREITAS, B. M. C. Marcas do agronegócio no território da Chapada do Apodi. In: RIGOTTO, R. (org.). **Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no baixo Jaguaribe/CE**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. 612 p.

GONDIM, J. E. F. **Qualidade do solo em agroecossistemas da região semiárida do estado do Rio Grande do Norte**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012b. 272 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha estadual e municipal**. Escala 1:250.000. 2015. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 13 dez. 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília: ICMBIO, 2018. 4162 p.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <https://www.ICMBIO.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/10357-acordo-garante-repatriacao-de-50-ararinhas-azuis> e <https://www.ICMBIO.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/4666-ICMBIO-elabora-plano-em-defesa-do-tatu-bola>. Acesso em: 28 out. 2020

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município: Apodi**. Natal, v.10, p. 1-23, 2008.

IMA – Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 74**, de 29 de agosto de 2018. Dispõe sobre a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação de planos, programas e projetos ambientais a serem executados na Recuperação/ Gerenciamento de Áreas Contaminadas, incluindo identificação, investigação e reabilitação da área. 2018.

ISPEN – Instituto Sociedade, População e Natureza. **Caatinga**: fauna e flora. Disponível em: <https://ispen.org.br/biomas/caatinga/fauna-e-flora-da-caatinga/>. Acesso em: 26 out. 2020.

KOTSCHI, J. 2013. **A Soiled reputation**: Adverse impacts of mineral fertilizers in tropical agriculture. Berlin: Heinrich Boell Foundation. 58 p.

LAVELLE, P. *et al.* Nutrient Cycling. *In*: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. (ed.). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends : findings of the Condition and Trends Working Group. Washington: Island Press, 2005. p. 331-353.

MAIA-SILVA, C. *et al.* **Guia de plantas**: visitadas por abelhas na Caatinga. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. 194 p.

MARASCA, I. *et al.* Avaliação de deriva na pulverização agrícola. **Boletim Técnico**. Rio Verde: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2017. 24 p.

MARINHO, A. M. P.; CARNEIRO, F. F.; ALMEIDA, V. E. Dimensão socioambiental em área de agronegócio: a complexa teia de riscos, incertezas e vulnerabilidades. *In*: RIGOTTO, R. (org.). **Agrotóxicos, trabalho e saúde**: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no baixo Jaguaribe/CE. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. 612 p.

MARQUES, O. A. V. *et al.* **Serpentes da Caatinga**: guia ilustrado. Cotia: Editora Ponto A, 2017. 240 p.

MEA – Millenium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and human well-being**: Synthesis. current state and trends : findings of the Condition and Trends Working Group. Washington: Island Press, 2005. 137 p.

MELLO, I. N. K.; SILVEIRA, W. F. Resíduos de agrotóxicos em produtos de origem animal. **Acta Veterinaria Brasilica** Mossoró, v. 6, n. 2, p. 94-104, 2012.

MENDES, A. M. S. *et al.* Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas. *In*: BRITO, L. T. L.; MELO, R. F.; GIONGO, V. (Eds.). **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 55-99.

MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMINIANO, A. M. S. Introdução. *In*: **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2014. 395 p.

PAGLIARINI, E. C.; OLIVEIRA, V. B. M.; ESPINDOLA, E. L. G. Aplicação da análise de risco ecológico (ARE) para avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos naturais. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 22, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0292r2vu19L1AO>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PERES F.; MOREIRA, J. C.; DUBOIS, G. S. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. *In*: PERES, F.; MOREIRA, J. C. (orgs.). **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003. p. 21-41.

PINTO, M. S. D. *et al.* O conflito socioambiental da Chapada do Apodi: uma análise sobre as violações de direitos do Projeto de Morte. **Revista InSURgência**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 237-276, 2015.

PINTO, M. S. D. **O conflito socioambiental da Chapada do Apodi: uma disputa entre o agronegócio e a agricultura familiar**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

PONTES, A. G. V. **Saúde do trabalhador e saúde ambiental: articulando universidade, SUS e movimentos sociais em território rural**. 2012. 261 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

PONTES, A. G. V. *et al.* Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o “desenvolvimento” do Semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, 2013. p. 3213-3222.

POTIGUAR NOTÍCIAS. **Rio Grande do Norte lidera exportação de frutas e pescados em 2019**. Disponível em: <https://www.potiguarnoticias.com.br/noticias/44026/rio-grande-do-norte-lidera-exportacao-de-frutas-e-pescados-em-2019>. 2020. Acesso em: 05 out. 2020.

RIGOTTO, R. M. *et al.* Perímetros irrigados e direitos violados no Ceará e Rio Grande do Norte: “por que a água chega e a gente tem que sair?”. **Revista Pegada**, v. 17, n. 2, p. 122-144, 2016.

ROSA, I. F.; PESSOA, V. M.; RIGOTTO, R. M. Introdução: agrotóxicos, saúde humana e os caminhos do estudo epidemiológico. *In*: RIGOTTO, R. (org.). **Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no baixo Jaguaribe/CE**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. 612 p.

SALVIANO, A.M. *et al.* Teores de metais pesados na água subterrânea utilizada para irrigação no município de Baraúna-RN. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15, 2005, Teresina. **Anais** [...]. Teresina: ABID, 2005. Disponível em: <http://www.abid.org.br/congressos/download.asp>. Acesso em 7 set, 2020.

SFB – Serviço Florestal Brasileiro. **Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Norte**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. 64 p.

SIAGAS/ CPRM – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/ Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. 2020. Acessado em: 11 jul. 2020.

SILVA, F. R. **Estudo do desenvolvimento da camada limite convectiva no semiárido brasileiro**. 2015. 66 f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVA, F. V. *et al.* Avaliação de risco ecológico de água e solo contaminados por petróleo em ambiente costeiro. In: **Simpósio brasileiro de recursos hídricos**, 20, 2013, Bento Gonçalves. Disponível em: https://rema.ufsc.br/pdfs/2017_congresso_silva.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

SILVA, W. B.; BEZERRA, J. M. Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi – RN. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 43, n. 1, p. 397-407, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2020_1_397_407. Acesso em 4 jun. 2020.

SOARES, G. Fruticultura no Nordeste: outras faces da opulência. **Cienc Cult**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 14-15, 2017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000200006>. Acesso em 11 jun. 2020.

SOARES, W. L.; CUNHA, L. N.; PORTO, M. F. S. **Uma política fiscal a agrotóxicos no Brasil é injustificável e insustentável**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Saúde Coletiva – ABRASCO, 2020. 49 P.

TEIXEIRA, A. C. A. Tecendo aproximações entre o trabalho e a pluralidade da exposição dos trabalhadores a agrotóxicos e fertilizantes no baixo Jaguaribe-CE. In: RIGOTTO, R. (org.). **Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no baixo Jaguaribe/CE**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. 612 p.

TRIBUNA DO NORTE. **Valores das exportações do RN crescem 41,8% em 2019**. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/valores-das-exportaa-a-es-do-rn-crescem-41-8-em-2019/470158>. 2020. Acesso em: 26 out. 2020.

TROLEI, A. L.; SILVA, B. L. Os recursos hídricos do Rio Grande do Norte: uma análise da vulnerabilidade territorial ao colapso no abastecimento de água. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 34, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.12901>. Acesso em 22 jul. 2018.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Ecological risk assessment guidance for Superfund**: process for designing and conducting ecological risk assessments: Interim Final. Edison: USEPA/ ERT, 1997. 239 p.