

Faculdade de Saúde Pública
Universidade de São Paulo

Avaliação de risco à saúde humana devido a presença de
arsênio e outros elementos em arroz no Brasil

Michele Cavalcanti Toledo

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Saúde Pública para obtenção
do título de Doutor em Ciências

Linha de pesquisa: Saúde Ambiental,
modos de vida e sustentabilidade.

Sublinha: Avaliação de exposição e riscos
por agentes ambientais

Orientadora: Profa. Dra. Adelaide Cassia
Nardocci

São Paulo

2021

Avaliação de risco à saúde humana devido a presença de arsênio e outros elementos em arroz no Brasil

Michele Cavalcanti Toledo

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública para obtenção do título de Doutora em Ciências

Linha de pesquisa: Saúde Ambiental, modos de vida e sustentabilidade.

Sublinha: Avaliação de exposição e riscos por agentes ambientais

Orientadora: Profa. Dra. Adelaide Cassia Nardocci

São Paulo

2021

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.

Dedico este trabalho a todas e todos os cientistas brasileiros, que seguem na luta em tempos sombrios, buscando um mundo mais saudável para todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Adelaide Nardocci, por me apresentar a avaliação de riscos na graduação, pela orientação desde o mestrado, pelo incentivo e por estar ao meu lado em momentos difíceis. Obrigada por todo aprendizado.

Agradeço aos membros da banca Dra. Ana Paula Bertolotto, Prof. Dr. Bruno L. Batista e Profa. Dra. Kelly P. K. Olympio, por aceitarem avaliar este trabalho, despendendo tempo e compartilhando o conhecimento de vocês. À Kelly e Bruno agradeço ainda por contribuírem significativamente para a realização deste trabalho ao longo dos anos.

Sou grata a Faculdade de Saúde Pública, à equipe da secretaria pelo trabalho árduo nos bastidores, e à todas as pessoas que compõem este ambiente que estimula o desenvolvimento científico e senso crítico. Da mesma forma sou grata à USP, que oferece infraestrutura desde minha graduação, onde fiz muitos progressos e amigos, e que abriu, e que certamente abrirá, boas oportunidades para mim.

Obrigada aos membros do NARA pelos encontros e discussões acadêmicas.

Obrigada à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), que apoiou a realização deste trabalho com uma bolsa de estudos (Código de Financiamento 001).

À USP-Print sou grata pela bolsa sanduíche, que me permitiu passar seis meses em uma das mais renomadas instituições ambientais do mundo, e trazer um pouco do conhecimento deles para este trabalho.

Obrigada ao John Vandenberg por abrir as portas da U.S. EPA e me receber tão bem. Agradeço pelas conversas, que mesmo quando informais, funcionaram como uma mentoria e muito me inspiraram.

Obrigada a Janice Lee pela orientação durante minha estadia na U.S. EPA, e ao inorganic arsenic team, Jeffrey Gift, Ingrid Druwe, and Allen Davis. Aprendi muito com vocês. Intensifico meus agradecimentos à Janice, Ingrid, Amanda e John pelos momentos descontraídos fora do campus, e por serem sempre tão carinhosos e atenciosos.

Obrigada à Anna e Leif por me receberem e por ajudarem a fazer com que Durham também fosse minha casa. Obrigada a Georgia pelas brincadeiras, e por demandar atenção me fazendo lembrar que era hora de terminar o expediente.

Sou grata à minha família, Toledo e Gaudereto, que é a base de tudo, e que sempre me apoiou, cada um a seu modo. Obrigada à minha mãe, que sempre nos estimulou a ser curiosos, a desvendar e cuidar do ambiente. Ao meu pai, que trabalhou duro para me permitir seguir longe. Obrigada aos melhores irmãos, Aline e Léo, sempre meu coração. Obrigada ao Esteban, Martin e Lorena, por tantos momentos de felicidade em família.

Obrigada aos padrinhos amados, Regina e Clowis, que compõem minha família, sempre muito atenciosos e amorosos.

Obrigada Billie, que me fazia companhia nas intermináveis horas em frente ao computador, e à Julie, que ora fazia companhia, ora brigava por atenção, e que em seus últimos dias só se deitava ali ao lado, buscando conforto.

Muito brigada a todos meus amigos, que sempre estiveram por perto. Como diz Emicida “Quem tem uma migo tem tudo”. Agradeço aos amigos queridos Marcela, Caio e Rafaela, pela amizade verdadeira. Ao Guilherme Ranieri, Felipe, Ravi e Patrícia, pelas risadas e pelas conversas acadêmicas. Ao Caio Vitor e Babi, sempre presentes e atenciosos.

Obrigada às meninas da FSP Sofia, Ximena, Bruna e Denise, sempre me divirto e aprendo com vocês.

Obrigada à Virginia e Thamara, amigas trilheiras. Obrigada Vivi e Américo por estarem sempre por perto com orientações, acadêmicas ou não.

Ao Guilherme Gaudereto, que a esta altura certamente já é capaz de apresentar este trabalho para uma audiência. Obrigada não apenas por me ouvir falar de risco e arsênio por todos estes anos, mas por trazer equilíbrio e calma quando eu precisei, e leveza ao cantar todos os dias para mim. Obrigada por me incentivar e por se alegrar com minhas conquistas, mesmo quando envolveram eu estar em outro país por meses, incluindo nosso primeiro aniversário de casamento.

Obrigada!

“Hey you
Don’t tell me there is no hope at all
Together we stand, divided we fall”
Hey you – Roger Waters

RESUMO

Toledo, M. C. Avaliação de risco à saúde humana devido a presença de arsênio e outros elementos em arroz no Brasil. 2021. Tese – Faculdade de Saúde Pública da USP; 2021.

Introdução: Arroz pode ser a principal fonte de exposição a arsênio inorgânico (iAs), que é carcinogênico e está associado a diversos efeitos não-carcinogênicos. Produtos feitos de arroz, como cereais infantis, e água para consumo podem ser importantes fontes de exposição a iAs. Embora o arroz seja um componente básico da dieta da população brasileira, há poucos estudos avaliando os riscos à saúde decorrentes da exposição ao iAs. **Objetivo:** Avaliar o risco da exposição a iAs e/ou outros elementos tóxicos e essenciais em arroz integral, arroz branco, cereais infantis, e água potável no Brasil, e identificar possíveis medidas para mitigar o risco. **Método:** O incremento de risco de câncer no tempo de vida (ILCR), o risco não-carcinogênico (HQ) e o *hazard Index* (HI) foram estimados através de análise probabilística com simulações de Monte Carlo. A concentração de elementos em arroz e cereais infantis foi obtida de pesquisas realizadas no Brasil, e a concentração de arsênio em água provém do monitoramento nacional de vigilância da qualidade da água. **Resultados e discussão:** O ILCR médio para exposição a iAs em arroz branco foi 1.3×10^{-04} , arroz integral 5.4×10^{-06} , e para exposição a chumbo (Pb) em arroz integral foi 2.5×10^{-8} . O HQ para arroz foi estimado abaixo de 1 para todos os elementos, assim como o HI, sugerindo que efeitos não carcinogênicos não são esperados. O ILCR médio decorrente da exposição a iAs em água foi 6.5×10^{-05} , acima do limite de 1×10^{-5} , e o HQ foi inferior a 1. Cereais infantis feitos de arroz foram o tipo de cereal com maior ILCR (4.0×10^{-5}) e com mais elementos com HQ acima de 1. Todos os cereais infantis apresentaram HQ acima de 1 para ao menos um elemento. Cadmio foi o elemento tóxico mais significativo, e zinco o elemento essencial mais relevante. Estimou-se que através de ações de mitigação o risco carcinogênico devido ao consumo de arroz poderia ser reduzido em até 68%, e para cereais infantis em 24%. O ILCR para arroz foi considerado elevado, ainda que as concentrações de iAs estejam dentro dos limites permitidos. O risco para arroz integral foi menor que para arroz branco, devido à baixa concentração de iAs nas amostras avaliadas, e as possíveis razões para isto foram exploradas, como o local do cultivo, práticas agrícolas e o tipo de cultivar de arroz. O risco carcinogênico e não-carcinogênico referente a exposição a Pb foi considerado baixo, entretanto nenhum nível de exposição a este elemento é considerado seguro. **Conclusões:** O ILCR para consumo de arroz, cereal infantil e água foi considerado elevado. O risco não-carcinogênico foi considerado elevado apenas para cereais infantis, incluindo elementos tóxicos e essenciais, e cereais infantis feitos de arroz apresentaram risco mais significativo. O consumo de água representou um menor risco carcinogênico, entretanto considerado não tolerável. Com o suporte de políticas públicas, medidas para reduzir os riscos relativos ao consumo de arroz e cereais infantis poderiam ter um impacto positivo para a saúde pública no Brasil.

Descritores: Método de Monte Carlo; Chumbo; Alimentação Básica; Alimentação; Avaliação de Riscos e Mitigação; Alimentos Infantis; Água potável;

ABSTRACT

Toledo, M. C. [Risk assessment from exposure to arsenic and other elements in rice from Brazil]. 2021. Thesis – Faculdade de Saúde Pública da USP; 2021. Portuguese.

Introduction: Rice can be the main source of exposure to inorganic arsenic (iAs), which is classified as carcinogenic and is also associated with non-cancer effects. Rice products, such as infant cereals, and drinking water are also important sources of exposure to iAs. Although rice is a staple food in Brazil, there have been few studies about the health risks for the Brazilian population. **Objective:** The objective of this study was to assess the risks of exposure to iAs and other toxic and essential elements from brown rice, white rice (only iAs), infant cereal (made of rice and different raw materials), and drinking water (only iAs) in Brazil, and to identify possible measures to mitigate those risks. **Method:** The incremental lifetime cancer risk (ILCR) and the non-cancer risk, or hazard quotient (HQ), and hazard index (HI) were calculated. A probabilistic analysis was performed with Monte Carlo simulation. **Results and discussion:** The mean ILCR was 1.3×10^{-04} for exposure to iAs in white rice and 5.4×10^{-06} for brown rice, and for exposure to Pb it was 2.5×10^{-8} for brown rice. The HQ was under 1 for all elements in brown rice, as the HI, suggesting that health effects are unlikely. The mean ILCR for exposure to iAs from drinking water was 6.5×10^{-05} , above the tolerable value of 1×10^{-5} recommended by the World Health Organization, and the HQ was below 1. Rice cereal was the kind of infant cereal with highest ILCR (4.0×10^{-5}) and with more elements with HQ above 1. All the infant cereals had an HQ above 1 for at least one element. Cd was the non-essential element more significative in this scenario, and Zn was the essential element more relevant. Various mitigation measures discussed in this dissertation are estimated to reduce the risk from rice consumption by 68%, and from infant cereal by 24%. The ILCR for white and brown rice was high, even though the iAs concentration in rice is below the maximum contaminant level. The risk for brown rice consumption was lower because the iAs concentrations were low in the brown rice samples evaluated, which possible reasons were explored, such as the location of cultivation, agricultural practices and the kind of rice cultivar. The estimated cancer and non-cancer risk from exposure to Pb is low, however no exposure to this element from diet is considered safe. **Conclusions:** The ILCR for rice, infant cereal and water consumption was considered high. The non-cancer risk was not tolerable only for infant cereal, including essential and non-essential elements, and rice cereal showed to be more concerning. Water consumption represents a small part of the risk for adults, although it was estimated to be not tolerable. With the support of public policies, measures to reduce these risks from rice and infant cereal would have a positive impact on public health in Brazil.

Descriptors: Monte Carlo Method; Lead; Staple food; Diet; Risk Evaluation and Mitigation; Child; Infant food; Drinking water.

SIGLAS E ABREVIATURAS

ADD - Average Daily Dose

AIC - Akaike information criterion

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

AQR – Avaliação Quantitativa de Riscos

As(III) – Arsenito

As(V) – Arsenato

AT – Tempo médio da exposição

BNMH – Brazilian National Ministry of Health

DMA – Dimethylarsinic acid

EF – Frequência da exposição

EFSA – European Food Safety Authority

EPA – United States Environmental Protection Agency

EUA – Estados Unidos da América

FAO – Food and Agriculture Organization

FDA – United States Food and Drug Administration

HI – Hazard Index

HQ – Hazard Quotient

IARC – International Agency for Research on Cancer

iAs – Inorganic arsenic

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

ILCR – Incremento de risco de câncer no tempo de vida

IR – Taxa de ingestão

LOD – Limite de detecção

LOQ – Limite de quantificação

LT – Tempo de vida

MCL – Maximum contaminant level

MMA – Monomethylarsonic acid

ONU – Organização das Nações Unidas

OMS – Organização Mundial da Saúde

PTWI – Provisional tolerable weekly intake

SD – Standard deviation

SF – Fator de carcinogenicidade

SISAGUA – Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano

USA – United States of America

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO	12
2.	INTRODUÇÃO.....	13
3.	OBJETIVOS.....	20
1.1.	OBJETIVO PRINCIPAL	20
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4.	MATERIAIS E MÉTODO	21
4.1.	DOSE, RISCO E QUOCIENTE DE PERIGO	21
4.2.	CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO INORGÂNICO, ELEMENTOS TÓXICOS E ELEMENTOS ESSENCIAIS.....	22
4.3.	CONSUMO DE ALIMENTOS E ÁGUA, FREQUENCIA DE EXPOSIÇÃO E PESO CORPÓREO.....	23
4.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1.	MANUSCRITO I: Cancer risk associated with exposure to inorganic arsenic in rice and drinking water in Brazil: A human health risk assessment.....	26
5.2.	MANUSCRITO II: Risk assessment from exposure to essential and toxic elements in infant cereal in Brazil	27
5.3.	MANUSCRITO III: Probabilistic risk assessment from exposure to essential and non- essential elements in rice from Brazil.....	28
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
8.	CURRÍCULOS LATTES	37

1. APRESENTAÇÃO

Esta tese de doutorado está apresentada na forma de artigo, de modo que a seção Resultados e Discussão é composta por três artigos escritos como produto desta pesquisa, que foram preparados para submissão para revistas científicas.

Por questões de direitos autorais, os manuscritos não serão disponibilizados ao público nesta tese, mas os mesmos podem ser acessados por meio das revistas em que estarão publicados.

2. INTRODUÇÃO

É comum que plantas absorvam elementos químicos do solo e água utilizada para irrigação, alguns dos quais têm sido reconhecidos como tóxicos para organismos vivos, incluindo seres humanos, mesmo em baixas concentrações. Tais elementos podem ter ocorrência natural, devido a composição de rochas e solos, ou podem ter fontes antrópicas, como indústrias, mineração, dentre outros. Destacam-se o arsênio, o chumbo, o cádmio, o cromo, e o mercúrio. Desta forma, a incorporação destes elementos na cadeia alimentar tem ganhado destaque nas pesquisas atuais sobre expossoma (MILLER; JONES, 2014).

Algumas das plantas que têm esta característica de acumular concentrações traço de elementos tóxicos provindos do solo e água são alimentos amplamente consumidos atualmente. Durante seu cultivo, tais elementos podem se acumular nos frutos, folhas, caule e/ou raiz do vegetal, e podem representar riscos para saúde humana (ANTOINE et al., 2017; AL-SALEH; ABDULJABBAR, 2017; FLEURY et al., 2017).

O arroz (*Oryza sativa*), um cereal amplamente consumido ao redor do mundo, tem sido reconhecido por sua capacidade de armazenar arsênio inorgânico nos grãos, o que representa riscos à saúde de populações que o consomem diariamente. A planta absorve uma quantidade relativamente elevada de arsênio, o que é resultado de uma combinação das características fisiológicas da planta, e de seu método de cultivo. O plantio, que ocorre geralmente em áreas alagadas, em condição anaeróbia, resulta em um meio redutor, onde bactérias anaeróbias reduzem arsenato [As(V)] em arsenito [As(III)], uma forma mais móvel e biodisponível para a planta. (Joint FAO/WHO, 2017; Zhao, McGrath e Meharg, 2010).

A absorção de arsenito pela planta pode ser mais significativa, mas podem também ser encontrados no grão de arroz arsenato, além das formas orgânicas do arsênio (ácido monometilarsônico e ácido dimetilarsínico), menos abundantes e cuja toxicidade conhecida neste momento aparenta ser menos relevante (U.S. FDA, 2016; Zhao, McGrath e Meharg, 2010).

A exposição ao arsênio inorgânico está associada a efeitos adversos à saúde descritos como danos ao sistema cardiovascular e dérmico (U.S. EPA, 1995). São ainda observados danos neurológicos, diabetes, problemas cardiovasculares e no sistema reprodutivo (HONG; SONG; CHUNG, 2014). É também considerado carcinogênico pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC), que avalia substâncias e compostos químicos quanto ao seu potencial carcinogênico, de modo que o arsênio inorgânico foi classificado como Grupo 1, onde se tem elevada confiança de que o agente químico é carcinogênico para humanos (WHO, 2012). A exposição ao arsênio inorgânico é associada a câncer de pele e do sistema respiratório (U.S. EPA, 1995). Há ainda evidências de câncer de bexiga, rim, fígado, próstata e leucemia (HONG; SONG; CHUNG, 2014).

Além das altas concentrações de arsênio, especialmente arsênio inorgânico (iAs), o elevado consumo de arroz contribui significativamente para um cenário de risco. Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), a ingestão de arroz responde por 30% do suporte energético e 20% da ingestão de proteína em todo mundo (FAO, 2004). O arroz compõe substancialmente a dieta da população mundial, sendo que cerca de metade da população o tem como alimento básico (GROSS; ZHAO, 2014).

Na Europa, o arroz foi considerado pelo *European Food Safety Authority* (EFSA) a maior fonte de iAs para a população (EFSA, 2014). HONG et al. (2014) fizeram uma revisão da literatura sobre arsênio e identificaram estudos que encontraram consideráveis concentrações de arsênio no corpo humano.

No Brasil, a produção de arroz e outros grãos têm aumentado substancialmente. Em 1970, a produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo somavam 27,3 toneladas. Em 2016, este valor passou para 204 toneladas, representando uma variação de 649,33% (EMBRAPA, 2017). Estima-se que a média de consumo de arroz pelo brasileiro seja de 140,9 g por dia (IBGE, 2020). O consumo do grão é difundido no país como um componente básico da dieta abarcando populações de diferentes estratos de renda (FERREIRA et al., 2005). Em estudo realizado no Brasil, estimou-se que 46–79% da ingestão de arsênio inorgânico vem do arroz (CIMINELLI et al., 2017). Além de arsênio, o arroz tem sido reconhecido como importante fonte de exposição a metais tóxicos, como chumbo, cádmio, e mercúrio, que são absorvidos da água e solo durante o cultivo, e por esta razão tem sido objeto de preocupação nos últimos anos (FU et al., 2015; JALLAD, 2015; KESHAVARZI et al., 2015; LIU et al., 2015)

A exposição a alguns elementos, mesmo em baixas doses, pode representar riscos importantes a saúde da população. Alguns metais são considerados interferentes endócrinos e os desfechos associados a exposições à baixas doses são doenças metabólicas, danos ao sistema reprodutivo, dentre outros (TCHOUNWOU et al., 2012; HAMPL et al., 2016). O câncer é um importante desfecho que tem sido associado à exposição à certos metais. (JAISHANKAR et al., 2014). A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) classifica o As, Cd, Al e Ni como carcinogênicos para humanos (grupo 1) e Pb como provavelmente carcinogênico para humanos (grupo 2) (IARC, 2020).

Estudo realizado por HUANG et al. (2013), demonstrou que, em alguns casos, a exposição a cádmio e chumbo por meio do consumo de arroz na China tem excedido os limites de ingestão diário considerados seguros para crianças e adultos.

Outro estudo identificou que a presença de chumbo, cádmio, metilmercúrio e arsênio total no arroz cultivado na China excederam os valores de referência estabelecidos pela FAO/WHO para chumbo, metilmercúrio e, principalmente, o arsênio (AL-SALEH; ABDULJABBAR, 2017).

Muitos dos elementos tóxicos encontrados em alimentos ocorrem naturalmente no ambiente, como cádmio, chumbo, alumínio e arsênio. Atividades antrópicas, como mineração e atividades industriais podem aumentar a concentração de tais elementos no ambiente, elevando a chance da absorção pelas plantas, que eventualmente podem ser consumidas pela população (U.S. FDA, 2016).

A exposição ao arsênio em arroz pela dieta não se mostra presente apenas pelo consumo deste cereal *in natura*. No mercado, há algumas opções de alimentos processados feitos de arroz ou farinha de arroz, como biscoitos, barras de cereais e principalmente cereais matinais infantis. Estes também podem conter elementos tóxicos oriundos do seu cultivo e/ou processamento, e merecem destaque pela faixa etária da população exposta e frequência de consumo em algumas culturas. A fase da vida em que ocorre a exposição pode se caracterizar como um importante fator de suscetibilidade, como a gestação, primeira infância e infância (Neto *et al.*, 2019; U.S. FDA, 2016). Em uma avaliação de riscos à saúde conduzida nos Estados Unidos da América (EUA), Shibata *et al.* (2016) avaliaram o risco da ingestão de arroz por crianças, incluindo arroz *in natura* e cereais matinais feitos de arroz. Os resultados indicaram riscos elevados e que demandavam medidas de intervenção.

Além de elementos potencialmente tóxicos presentes em cereais infantis, alguns pesquisadores têm alertado para o excesso de elementos essenciais neste tipo de alimento. A adição artificial de tais elementos essenciais, como zinco, manganês, e ferro, seguem uma estratégia de prevenção de desnutrição e algumas doenças na infância, o que pode ter resultados positivos significativos em alguns países em desenvolvimento, porém o excesso pode estar associado a danos à saúde, a depender do elemento e da dose (GARCIA-CASAL *et al.*, 2019).

Não apenas o arroz, mas a água pode ser uma importante fonte de exposição à arsênio. A ocorrência natural de arsênio em água subterrânea, como decorrência da presença de arsênio na composição das rochas, pode tornar este caminho de exposição muito relevante para a saúde pública. Esta é uma realidade em alguns países asiáticos, como certas localidades na Índia, Paquistão e Bangladesh (Upadhyay *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2015; Rahman, Asaduzzaman e Naidu, 2013). No Brasil, estudos apontam para concentrações mais elevadas de arsênio em água em localidades restritas, como resultado de atividades antropogênicas, principalmente a mineração, e em alguns casos a ocorrência natural em reservatórios subterrâneos (Costa *et al.*, 2015; Sakuma *et al.*, 2010; Figueiredo, Borba e Angélica, 2007; Borba, Figueiredo e Cavalcanti, 2004).

Agências internacionais têm dedicado especial atenção a exposição a baixas doses de iAs em alimentos e água. O limite máximo de arsênio inorgânico em arroz, em nível internacional, é determinado pelo Codex Alimentarius, que consiste em uma coleção de padrões, guias e códigos de conduta destinados a proteção da saúde, feitos pela Joint FAO/WHO *Codex Committee on Contaminants in Foods* e seus países membros. O limite vigente de iAs em arroz polido é 200 n g^{-1} , e em arroz integral é 350 n g^{-1} (Joint FAO/WHO, 2018). Cada país pode adotar uma regulamentação específica, e no Brasil este papel é executado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da Resolução RDC n. 42/2013, que é destinada a estabelecer valores máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos no Mercosul, portanto tendo um caráter de regulação voltado para o comércio internacional, mas que se aplica também aos produtos de circulação nacional. O limite estabelecido pela ANVISA é de arsênio total, que para arroz polido e arroz integral é 300 n g^{-1} (BRASIL, 2013). Visando realizar uma padronização com os demais países do Mercosul e com as diretrizes internacionais, a ANVISA está em processo de adotar o limite para iAs em arroz,

não mais arsênio total, alegando que a medida vigente dificulta as transações entre países, e que é mais restritiva que a diretriz internacional (ANVISA, 2020).

Nos Estados Unidos, a *Food and Drugs Administration* (FDA) realizou um estudo detalhado de revisão das evidências sobre efeitos associados à exposição ao arsênio. Foi avaliado o risco para a população do país estudado, e propostas medidas para mitigá-lo. Esta agência reconhece a avaliação de riscos como método importante para avaliar os riscos relacionados a alimentos contaminados e oferecer subsídios para estabelecer e avaliar estratégias para a gestão do risco, com o objetivo prevenir e mitigar os impactos na saúde da população (U.S. FDA, 2016).

Dado que o arroz é um alimento amplamente consumido no mundo, a recomendação internacional, em termos de prevenção à exposição ao arsênio, é adotar uma série de práticas para prevenir e reduzir a contaminação de arroz por arsênio. Tais medidas são voltadas principalmente a identificar e impedir as fontes de arsênio, bem como adotar práticas agrícolas reconhecidas por mitigar a concentração de iAs no grão (Joint FAO/WHO, 2011). Neste contexto, a avaliação de riscos é indicada pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), ou Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, como uma importante ferramenta para a gestão de riscos de alimentos com contaminantes químicos ou microbiológicos (FAO, 2015).

A avaliação quantitativa de riscos (AQR) é uma abordagem que permite estimar os riscos à saúde humana em decorrência da exposição à substâncias químicas perigosas (NRC, 1983). Ela pode ser direcionada para uma população ou indivíduo, e tem como resultado um valor de risco, que é adimensional, e que pode ser interpretado como tolerável ou não de acordo com um valor de referência. (SWARTJES, 2015).

Esta ferramenta possui algumas vantagens em relação a outros métodos, como os estudos epidemiológicos ou o uso de biomarcadores, por exemplo. Pode-se elencar a possibilidade de se trabalhar com cenários hipotéticos de exposição; a realização de todas as etapas sem interferir na população estudada; baixo custo; a quantificação de valores baixos de risco; e trabalhar com casos de exposições passadas (NARDOCCI, 2010);

Em contrapartida, a AQR é uma medida indireta do risco; demanda modelos matemáticos e toxicológicos validados; e apresenta dificuldade de lidar com a multicausalidade para alguns desfechos, como o câncer (NARDOCCI, 2010).

As etapas da AQR e seus objetivos podem ser descritas como:

- Identificação do perigo: etapa destinada a realizar identificação de todos os agentes perigosos à saúde humana bem como o levantamento de suas propriedades físico-químicas e toxicológicas;
- Avaliação da exposição: é onde se realiza a identificação dos meios e caminhos de exposição ambiental e vias de exposição. São também realizadas as estimativas das doses recebidas pelos grupos expostos;

- Avaliação dose-resposta: tem como objetivo realizar a determinação da relação entre a magnitude da exposição, a dose, e a probabilidade de um efeito à saúde da população;
- Caracterização do risco: tem como objetivo realizar a descrição da natureza e da magnitude do risco à saúde humana (NRC, 1983).

A avaliação de riscos pode ser determinística ou probabilística, de modo que a segunda busca abarcar a variabilidade e a incerteza, que são inerentes a avaliação de riscos. A variabilidade refere-se à heterogeneidade encontrada em indivíduos de uma população e às diferenças na distribuição dos contaminantes do meio estudado (NIKOLAIDIS *et al.*, 2013). A variabilidade pode ser expressa por parâmetros estatísticos, como variância e desvio padrão. (U.S. EPA, 2014b).

A incerteza, diferente da variabilidade, pode ser tanto quantitativa como qualitativa, e refere-se à ausência de dados ou a incompreensão do contexto. Pode ser resultado de análises incompletas, erros de agregação, erros de julgamento, erros de amostragem, limitação de modelos, entre outros. A aquisição de mais dados ou dados de maior qualidade são o caminho para a redução da incerteza (U.S. EPA, 2014b).

Na avaliação de riscos, a adoção de uma abordagem probabilística permite a caracterização da variabilidade e incerteza. Esta é uma abordagem considerada mais complexa em relação à abordagem determinística, mas que também apresenta vantagens (MORISSET *et al.*, 2013).

Na avaliação de determinística usa-se valores médios ou máximos como valores de entrada, e tem-se com resultado um valor pontual de risco. Apesar de não considerar a variabilidade e incertezas, tem como vantagens a baixa complexidade e menor custo (U.S. EPA, 2014b).

A avaliação probabilística usa como valores de entrada uma distribuição de dados, onde são sorteados múltiplos pontos para cada parâmetro. Este processo é repetido uma série de vezes, de modo que cada sorteio gera um resultado que compõe uma distribuição de potenciais valores de risco (U.S. EPA, 2014b).

O repetido sorteio dos valores de uma ou mais distribuições de entrada é responsável por caracterizar a variabilidade e incerteza. Por exemplo, pode-se sortear valores para peso corporal, frequência de exposição e/ou concentração de contaminante no meio. Tais variáveis são independentes e representam a variabilidade dentro da população ou meio estudado. Para cada iteração (repetição) configura-se uma combinação de valores de entrada, e gera como resultado uma distribuição da possível estimativa de risco (U.S. EPA, 2014b).

Assim é possível caracterizar a heterogeneidade da população exposta (devido a questões fisiológicas), e da distribuição da contaminação no meio de estudo (NIKOLAIDIS, *et al.*, 2013; U.S. EPA, 2001).

Destaca-se ainda que avaliação probabilística permite gerar estimativas de exposição de acordo com os percentis, possibilitando trabalhar com as estimativas mais conservadoras (por

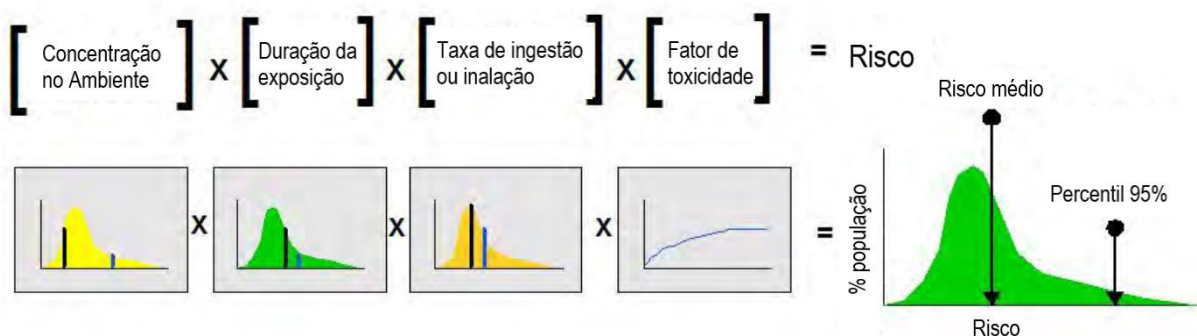
exemplo de 95 ou 99%), os quais representam os piores casos de exposição e os riscos para os grupos mais expostos (U.S. EPA, 2014b).

A avaliação probabilística é mais sofisticada, e tem custos mais elevados. Demanda um conjunto maior de dados do monitoramento do compartimento ambiental estudado e dados de qualidade, equipe qualificada, softwares específicos, além de maior tempo para sua realização (U.S. EPA, 1997).

Assim, esta é mais indicada, por exemplo, quando os resultados da abordagem determinística indicam riscos à saúde não toleráveis; quando o custo da intervenção e gestão do risco é muito elevado; e em cenários de elevadas incertezas (U.S. EPA, 1997). Quase toda avaliação de riscos tem com etapa inicial a realização de uma avaliação determinística (HEALTH CANADA, 2010).

Para realizar a avaliação probabilística é necessária a adoção de um método, sendo o que mais utilizado é o método de Monte Carlo (Morisset, Ramirez-Martinez, Wesolek, & Roudot, 2013). Este método usa de softwares computacionais para realização de amostragens aleatórias da distribuição da probabilidade para cada variável. Tal processo é repetido diversas vezes (usualmente dez mil), e cada iteração produz uma única estimativa de risco. O resultado das iterações define a probabilidade da distribuição do risco, que pode ser representado em um histograma, facilitando a sua visualização (Health Canada, 2010). Um esquema da simulação Monte Carlo é apresentado na figura 1.

Figura 1 - Esquema ilustrativo do Método de Monte Carlo



Adaptado de: (U.S. EPA, 2014)

A aplicabilidade do método de Monte Carlo é bastante genérica, o que é sua principal vantagem. Ele aceita qualquer forma de distribuição de entrada, não oferece restrições à natureza da relação entre os dados de entrada e saída, e seu manuseio no computador é relativamente fácil. Em contrapartida tem a necessidade de uma distribuição de dados confiáveis; é difícil avaliar a sensibilidade dos resultados em relação aos dados de entrada; e caso se altere algum valor, é necessário realizar todas as estimativas novamente (U.S. EPA, 1992).

A avaliação de riscos tem sido indicada pela FAO e FDA como uma importante ferramenta para avaliar riscos na área de alimentos, e considerada relevante para oferecer subsídios no estabelecimento de estratégias de gestão do risco, sendo ressaltada a vantagem da avaliação probabilística para esta área, que por natureza possui variabilidade e pode possuir incertezas (U.S. FDA, 2016; FAO, 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a FAO reconhecem que a contaminação de alimentos por elementos químicos potencialmente tóxicos à saúde humana, especialmente o arroz, é um problema de importância para a saúde pública e que mais estudos são necessários para que se possam dar diretrizes adequadas para consumidores e produtores de arroz (JOINT FAO/WHO, 2011a).

O acesso a alimentos de qualidade, bem como a promoção da saúde, faz parte do conceito de Segurança Alimentar e Nutricional, que é estabelecido como um direito pela Lei Orgânica de Segurança Alimentar, nº 11.346 de 15 de setembro de 2006. Portanto não só o alimento é um direito, mas também alimentos que não ofereçam riscos significativos à saúde das pessoas (BRASIL, 2006).

Além disto, alcançar a segurança alimentar está dentre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) de 2015, expresso no objetivo 2 “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” (ONUBR, 2017).

Apesar da importância que o arroz tem para a alimentação da população brasileira, estudos sobre os riscos associados a exposição a arsênio e outros elementos tóxicos, em especial associados a efeitos de baixas doses, são escassos. A exposição crônica, em especial de grupos suscetíveis, como gestantes e crianças, deve ser priorizada (NAUJOKAS *et al.*, 2013). Entender os riscos aos quais a população está exposta é primeiro passo para a correta gestão dos riscos em prol da saúde pública.

3. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Avaliar o risco de efeitos carcinogênico e não carcinogênico para a população brasileira devido ao consumo de arroz e cereais infantis feitos de arroz referente à presença elementos tóxicos, principalmente o arsênio, e elementos essenciais.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar se há diferença no risco referente ao consumo de arroz branco e integral;
- Identificar possíveis medidas de mitigação do risco para consumo de arroz no Brasil;
- Identificar a contribuição do consumo de água para os riscos associados à exposição ao arsênio inorgânico;
- Verificar se cereais infantis feitos de arroz oferecem maior risco que cereais infantis feitos de outros tipos de ingredientes;
- Investigar se outros elementos (tóxicos e essenciais) presentes em arroz e cereais infantis podem oferecer riscos à saúde.

4. MATERIAIS E MÉTODO

A estimativa do risco será realizada seguindo as recomendações da *United States Environmental Protection Agency* (U.S.EPA), iniciando-se pelo cálculo da dose média diária da população exposta, que leva em consideração a concentração de contaminantes no alimento, a quantidade e a frequência de ingestão do alimento, o peso corpóreo e o tempo de exposição. A dose é utilizada para o cálculo do incremento de risco no tempo de vida, e do quociente de perigo para a avaliação do risco não carcinogênico, conforme detalhado nas seções seguintes (USEPA, 1989).

4.1. DOSE, RISCO E QUOCIENTE DE PERIGO

A dose média diária, do inglês *average daily dose* (ADD), foi estimada separadamente para cada caminho de exposição (ingestão de arroz branco, arroz integral, cereais infantis e água), de acordo com a equação:

$$ADD_j = \frac{[C \times IR_j \times ED_j \times EF_j]}{[BW_j \times AT]} \quad (1)$$

Onde ADD_j é a dose diária média (mg/kg-dia) para o grupo etário j; C é a concentração do elemento químico no alimento ou água (mg/g ou mg/ml); IR é a taxa de ingestão do alimento ou água (g/dia ou ml/dia) para o grupo etário j; ED_j e EF_j são, respectivamente, a duração da exposição (anos) e a frequência da exposição (dias/ano) para o grupo etário j; BW_j é o peso corpóreo para o grupo etário j; e AT é o tempo médio da exposição, calculado por ED_j × 365 dias.

O risco carcinogênico foi calculado para cada grupo etário, de modo a representar as diferenciações do risco no tempo de vida. A soma ponderada do risco para cada grupo etário resultou no incremento de risco de câncer no tempo de vida (ILCR) (U.S. EPA, 2005):

$$ILCR = \sum_{j=1,n} (ADD_j \times SF) \times \frac{ED_j}{LT} \quad (2)$$

Onde o SF é o *slope factor*, ou fator de carcinogenicidade, do agente químico; LT é o tempo de vida (70 anos) e n é o número de grupos etários.

O risco não carcinogênico foi calculado pelo Quociente de Perigo (HQ), ou em inglês *Hazard Quotient* como é também referido, para cada caminho de exposição. Para tanto, primeiramente foram estimadas frações de HQ para cada grupo etário pela divisão de ADD_j pela RfD, que é a dose de

referência para o agente químico. A soma das frações de HQ de cada grupo etário j (considerando n grupos etários) ponderada pela duração da exposição j e tempo de vida resultou no HQ:

$$HQ = \sum_{j=1,n} \left(\frac{ADD_j}{RfD} \right) \times \frac{ED_j}{LT} \quad (3)$$

A vantagem de se calcular o HQ fracionado é identificar as diferentes contribuições ao HQ no tempo de vida, além de se reduzir a incerteza.

Para substâncias que possuem reconhecidamente os mesmos efeitos não-carcinogênicos à saúde, os HQs calculados foram somados a fim de obter-se o *Hazard Index* (HI) (U.S. EPA, 1989).

As estimativas do ILCR e HQ para ingestão de arroz (branco e integral) e água foram realizadas seguindo uma abordagem probabilística, através de simulação Monte Carlo, utilizando como parâmetros de entrada distribuições da concentração de arsênio inorgânicos e outros elementos presente em arroz, e arsênio inorgânico em água potável. Para esta avaliação probabilística foram feitas 10.000 iterações e com intervalo de confiança de 95% por meio do software YASAIw, do State of Washington Department of Ecology (PELLETIER; BOX, 2009). Os demais parâmetros, como peso corpóreo, não foram inseridos na forma de distribuição, por não apresentaram um bom ajuste a nenhuma distribuição. A avaliação de riscos referente aos cereais infantis foi realizada seguindo uma abordagem determinística, ou seja, utilizando valores médios dado a limitada quantidade de amostras de cereais infantis disponível.

4.2. CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO INORGÂNICO, ELEMENTOS TÓXICOS E ELEMENTOS ESSENCIAIS

Para este trabalho foram utilizados dados secundários da concentração dos elementos químicos em arroz, cereais infantis e água.

A concentração de elementos essenciais e não essenciais presentes em arroz foram obtidos de uma pesquisa conduzida no Brasil que coletou e analisou 154 amostras de arroz do Brasil (64 amostras de arroz branco, e 90 amostras de arroz integral). Os elementos tóxicos e essenciais são 21: As (apenas iAs), Al, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Ni, Na, P, Pb, Se, Sr, e Zn (BATISTA, 2015).

A concentração de elementos tóxicos e essenciais em cereais infantis provém de um estudo conduzido no Brasil, onde os autores coletaram 18 amostras de cereais infantis, sendo que nove tem o arroz como componente básico, cinco são cereais multi-grão que contém arroz, e quatro são cereais que não contém arroz na composição. Esta pesquisa conseguiu dados de concentração de 22 elementos: Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Ni, Na, Pb, Se, Sr, e Zn (PEDRON *et al.*, 2016).

Foram incluídos na avaliação de riscos apenas elementos com um *slope factor* (SF) ou dose de referência (RfD) descritos na literatura científica.

Os dados de concentração de arsênio em água são provenientes do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano (SISAGUA), que armazena dados da qualidade da água em nível nacional. Os dados correspondem a concentração de arsênio total em 3.466 amostras coletadas entre 2014 e 2018 disponível em 15 estados do Brasil (BRANDT; AQUINO; BASTOS, 2019)

4.3. CONSUMO DE ALIMENTOS E ÁGUA, FREQUENCIA DE EXPOSIÇÃO E PESO CORPÓREO

O consumo de arroz foi obtido de diferentes fontes a fim de compor o consumo no tempo de vida. De 4 meses a 1 ano e de 5 a 10 anos de idade o consumo de arroz foi estimado com base no Manual de Orientação para Centros de Educação Infantil (SÃO PAULO, 2011^a; SÃO PAULO, 2011^b). De 1 a 5 anos de idade o consumo de arroz foi obtido de um estudo realizado em duas creches em São Paulo (LEROUX *et al.*, 2018). Para grupos etários entre 10 e 70 anos, os valores são da Pesquisa de Orçamentos familiares realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com dados de 2017 e 2018 (IBGE, 2020).

A ingestão de cereais infantis foi estimada de acordo com a taxa descrita pelo *Child-specific Exposure Factors Handbook* (U.S. EPA, 2009) determinada em g de cereais infantis por kg do peso corpóreo. Assim a taxa para cada idade foi multiplicada pelo peso corpóreo da população brasileira (IBGE, 2010)

A ingestão de água foi calculada pela ingestão de água do *Exposure Factors Handbook* (U.S. EPA, 2019) em relação ao peso corpóreo por dia (ml/kg-dia) da população brasileira (IBGE, 2010). O peso corpóreo foi calculado pela média ponderada entre homens e mulheres em relação à população total entrevistada (IBGE, 2010).

A frequência de exposição para arroz foi considerada 6 dias/semana (312,85 dias/ano); para água foi 7 dias/semana (365 dias/anos), bem como para cereais infantis (SHIBATA *et al.*, 2016).

4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise estatística foi feita pelo software R, versão 3.5.0, e R studio, versão 1.1.453 (*The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*). Para ajustar os dados (concentração de arsênio inorgânico e outros elementos presentes em arroz, e arsênio total em água) à uma distribuição, o pacote fitdistplus foi adotado. Foram testadas as distribuições normal, lognormal e exponencial, e foi escolhida a que apresentou menor valor de Akaike information criterion (AIC).

Apesar da disponibilidade de dados referentes ao consumo de alimentos e água, e peso corpóreo para cada grupo etário, em conjunto eles não apresentaram um bom ajuste a nenhuma distribuição. Portanto, optou-se em calcular a dose, risco e HQ fracionário para cada grupo etário, de modo que a soma ponderada dos mesmos corresponderia ao ILCR ou HQ no tempo de vida. Esta abordagem apresentou a vantagem de permitir a identificação dos grupos etários mais vulneráveis, o que pode ser valioso na gestão do risco.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Manuscrito I: Cancer risk associated with exposure to inorganic arsenic in rice and drinking water in Brazil: A human health risk assessment.

Artigo submetido para revista científica.

Manuscrito II: Risk assessment from exposure to essential and toxic elements in infant cereal in Brazil.

Artigo em revisão gramatical da língua inglesa.

Manuscrito III: Probabilistic risk assessment from exposure to essential and non-essential elements in rice from Brazil.

Artigo submetido para revista científica.

5.1. MANUSCRITO I

Cancer risk associated with exposure to inorganic arsenic in rice and drinking water in Brazil: A human health risk assessment.

Michele C. Toledo^a, Janice S. Lee^b, Bruno L. Batista^c, Kelly P.K. Olympio^a, Adelaide C. Nardocci^a

^a *School of Public Health, University of São Paulo, São Paulo, Brazil.*

Av. Dr. Arnaldo, 715 - São Paulo - SP - Brasil - CEP - 01246-904.

^b *United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA. 109 T.W. Alexander Drive Durham, NC 27709.*

^c *Federal University of the ABC, Santo André, Brazil.*

Av. dos Estados, 5001 - Bangú, Santo André - SP, 09210-580

Manuscrito submetido para a revista *Science of the Total Environment*.

5.2. MANUSCRITO II

Risk assessment from exposure to essential and toxic elements in infant cereal in Brazil

Michele C. Toledo^a, Janice S. Lee^b, Bruno L. Batista^c, Kelly P.K. Olympio^a, Adelaide C. Nardocci^a

^a *School of Public Health, University of São Paulo, São Paulo, Brazil.*

Av. Dr. Arnaldo, 715 - São Paulo - SP - Brasil - CEP - 01246-904.

^b *United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA. 109 T.W. Alexander Drive Durham, NC 27709.*

^c *Federal University of the ABC, Santo André, Brazil.*

Av. dos Estados, 5001 - Bangú, Santo André - SP, 09210-580

Manuscrito sendo revisado para submissão para revista científica.

5.3. MANUSCRITO III

Probabilistic risk assessment from exposure to essential and non-essential elements in rice from Brazil.

Michele C. Toledo^a, Janice S. Lee^b, Bruno L. Batista^c, Kelly P.K. Olympio^a, Adelaide C. Nardocci^a

^a *School of Public Health, University of São Paulo, São Paulo, Brazil.*

Av. Dr. Arnaldo, 715 - São Paulo - SP - Brasil - CEP - 01246-904.

^b *United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA. 109 T.W. Alexander Drive Durham, NC 27709.*

^c *Federal University of the ABC, Santo André, Brazil.*

Av. dos Estados, 5001 - Bangú, Santo André - SP, 09210-580

Manuscrito submetido para publicação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizada uma avaliação de riscos à saúde humana devido ao consumo de arroz e cereais infantis feitos de arroz, uma vez que este é um cereal amplamente consumido no Brasil, e que reconhecidamente armazena quantidades significativas de arsênio inorgânico, considerado carcinogênico e associado a outros efeitos não carcinogênicos à saúde (FDA, 2016; IBGE, 2020). Uma vez que a água de consumo pode ser também uma fonte de arsênio, esta foi incluída nesta avaliação de riscos. Quantificar os riscos de uma exposição é o primeiro passo para mitigá-los, e neste caso pode proporcionar melhorias para a saúde pública.

De acordo com os dados, cenário de exposição e método utilizados, o consumo combinado de arroz, água e cereais infantis resulta em um incremento de risco de câncer no tempo de vida considerado elevado, que varia de $7,4 \times 10^{-05}$ a $2,4 \times 10^{-04}$. O menor valor é referente ao consumo de arroz integral e cereais infantis de milho, e tal resultado deve ser interpretado como a probabilidade de que 7,4 em 100.000 pessoas desenvolvam câncer decorrente de tal exposição. O pior cenário refere-se ao consumo de arroz branco e cereais infantis feitos de arroz, representando 2,4 casos de câncer em 10.000 devido a esta exposição. Não existe um valor de referência de risco tolerável para consumo de alimentos. Alguns autores utilizam o valor descrito pela EPA para avaliar áreas contaminadas, que estabelece como aceitável o risco de câncer no intervalo de 10^{-4} a 10^{-6} (SHARMA et al., 2020; AL-SALEH et al, 2017; SHIBATA et al., 2016). Usando tal referência como parâmetro, é possível afirmar que o consumo de arroz branco, cereais infantis feitos de arroz e água no Brasil pode representar um risco 2,4 vezes maior que o tolerável.

O consumo de arroz isoladamente já representa um risco significativo devido a presença de arsênio inorgânico, sendo a média e percentil 95 respectivamente $1,4 \times 10^{-04}$ e $2,3 \times 10^{-04}$ para arroz branco, e $5,4 \times 10^{-06}$ e $7,7 \times 10^{-06}$ para arroz integral. O menor risco decorrente do consumo de arroz integral deve-se a menor concentração média de arsênio inorgânico em parte das amostras de arroz integral, o que é incomum. Dado que as amostras de arroz branco e integral são de procedências distintas, há diversos fatores que poderiam ter contribuído para a baixa concentração de arsênio inorgânico do arroz integral, e que não incidiram no arroz branco. Neste trabalho, foram exploradas hipóteses para a baixa concentração de arsênio em tais amostras de arroz, que envolvem as características ambientais da área de plantio, práticas agrícolas e cultivares de arroz que acumulam menos arsênio, e que merecem investigações pois foi evidenciado que é possível produzir arroz com baixa concentração de arsênio inorgânico, de modo que seu consumo representaria um risco mais próximo do que se pode entender como tolerável. Portanto, recomenda-se estudos para verificar se tais fazendas de onde vieram as amostras de fato produzem arroz com baixa concentração de arsênio, e estudos que busquem entender estas dinâmicas que afetam a concentração de arsênio em

arroz no Brasil. Caso confirme-se que já é plausível produzir arroz com baixas concentrações de arsênio inorgânico, seria possível adotar tais estratégias para promover a segurança alimentar.

Nas amostras de arroz analisadas, o arsênio inorgânico foi o único elemento que representou risco carcinogênico significativo, de modo que o chumbo não representou risco expressivo. Foi observada a presença de outros elementos reconhecidos como carcinogênicos para humanos (cadmio, alumínio e níquel), entretanto ainda não há fator de carcinogenicidade descrito na literatura para estes metais, de modo que não é possível estimar o risco de câncer decorrente de tal exposição (IARC, 2020).

O consumo de arroz apresentou-se seguro em termos de risco não carcinogênico para arsênio inorgânico, e todos os elementos tóxicos e essenciais incluídos nesta avaliação de riscos.

Neste contexto de exposição a arsênio, o consumo de água, que em muitos locais do mundo é considerada uma importante fonte de exposição, representou uma menor contribuição para o risco carcinogênico, entretanto, este foi considerado em média 6,5 vezes acima do valor tolerável de 10^{-5} descrito pela OMS, e o percentil 95 foi 19,7 vezes superior a tal valor (WHO, 2017). Para um resultado com menos incertezas, seria necessária a especificação do arsênio presente em água, uma vez que os dados de monitoramento nacional apresentam apenas a concentração de arsênio total em água para consumo humano, de modo que os resultados desta avaliação de risco estão superestimados. Portanto, recomenda-se estudos com a especificação do arsênio em água para consumo. O risco não carcinogênico decorrente do consumo de água não se mostrou significativo.

Dentre a população estudada, as crianças são o grupo mais vulnerável, e a literatura mostrou um consumo precoce de arroz e cereais infantis, que muitas vezes são feitos de arroz, no Brasil (ALBUQUERQUE et al 2018; SOMBRA et al 2017). O risco carcinogênico estimado para o consumo de cereais infantis foi considerado elevado, com destaque para os cereais contendo arroz na composição (4×10^{-5}), devido a típica elevada concentração de arsênio inorgânico no grão. Cereais infantis tendo arroz como principal componente apresentaram risco cerca de 12 vezes maior que o risco para cereais infantis sem arroz em sua composição, e 2 vezes maior do que os que continham uma mistura de cereais incluindo arroz.

Todas as amostras de cereais infantis apresentaram risco não-carcinogênico não tolerável, com ao menos um elemento com valor de quociente de perigo acima do valor de referência, indicando que efeitos à saúde decorrentes de tal exposição são prováveis. Cereais infantis à base de arroz demonstraram risco não carcinogênico mais significativo, com um maior número de substâncias acima do valor de referência para risco. Além dos elementos tóxicos, foi estimado que alguns elementos essenciais presentes em cereal infantil, adicionados durante o processo de produção, representam risco não carcinogênico significativo.

Para resultados com menos incertezas, recomenda-se estudos sobre consumo de cereais infantis que registrem as quantidades diárias de cereais infantis ingeridas, uma vez que tal dado ainda não é disponível para a população brasileira. Complementarmente, os resultados desta avaliação de riscos como um todo podem estar subestimados, pois há outros alimentos que são fonte

de arsênio, como certos produtos feitos à base de arroz que não foram incluídos por falta de dados. Além disso, o risco para certas populações, como pessoas celíacas, que geralmente consomem mais arroz que a população em geral, provavelmente é mais elevado (PEDRON et al, 2016).

O chumbo não representou risco (carcinogênico e não carcinogênico) significativo nas estimativas realizadas decorrentes do consumo de cereais infantis e arroz branco, entretanto, conforme descrito pela FAO, nenhuma dose de chumbo provindo da dieta deve ser considerada segura (JOINT FAO/WHO, 2011b). Portanto, a exposição a chumbo presente em arroz e cereais infantis envolve riscos à saúde.

Seguir o valor de referência (nacional e internacional) para arsênio inorgânico em arroz, demonstrou-se não ser protetivo à saúde de acordo com o cenário brasileiro, uma vez que neste trabalho foram levados em conta as características físicas populacionais e a frequência e quantidade de consumo de arroz pela população brasileira.

A avaliação de riscos, neste contexto, mostra-se como uma importante ferramenta para a estimativa e gestão dos riscos referente ao consumo de arroz, portanto tendo o potencial de gerar benefícios para a saúde pública. A estimativa dos riscos de acordo com o método adotado neste trabalho pode trazer resultados com menos incertezas, comparada a outras abordagens, o que é endossada pela FAO (2015).

Foi demonstrado neste trabalho que o risco devido ao consumo de arroz e cereais infantis poderia ser reduzido, o que entretanto demandaria ações que abarcassem a complexidade do cenário brasileiro. A redução do limite máximo de contaminante permitido em arroz no Brasil, acompanhado de ações voltadas às práticas agrícolas, industriais e culturais dos consumidores, poderiam ser um caminho para a redução do risco. Estudos e políticas públicas seriam essenciais para alcançar tais objetivos, especialmente no que se refere à redução de risco associado a idades precoces, onde adiciona-se ao cenário o incentivo a amamentação exclusiva até os 6 meses de idade. Alguns países têm obtido sucesso em gradualmente incentivar a indústria a produzir arroz com menor concentração de arsênio inorgânico para a população em geral, ou para populações específicas, como crianças. Nos estados Unidos da América, a FDA, a partir de avaliações de risco, implementou um programa para incentivar a indústria de cereais infantis a adotar reconhecidas boas práticas para produzir cereais com baixa concentração de arsênio, como diluir a concentração de arsênio inorgânico adicionando outros tipos de cereais à composição do produto, selecionar bons fornecedores, e realizar testes de concentração de arsênio inorgânico sempre que recebem arroz para produção (U.S.FDA, 2020).

Este trabalho se insere em um contexto complexo, e por isso teve apenas como objetivo entender o risco associado principalmente ao consumo de arroz de acordo com o método de avaliação de riscos, e estimar a redução do risco decorrente de possíveis medidas de mitigação. Novos trabalhos, de outras áreas e interdisciplinares, são fundamentais para que se investigue melhores maneiras de se mitigar o risco no contexto brasileiro. Além de investigações na área da agronomia, uma análise a respeito dos processos industriais, da gestão da cadeia de produção, e o

entendimento a respeito dos impactos econômicos de cada possível medida de mitigação, identificando quais são as mais viáveis dentro do cenário nacional, seriam importantes. Tais estudos seriam essenciais para pautar políticas públicas voltadas para esta questão, garantindo que o arroz chegue ao consumidor representando baixo risco à saúde.

No Brasil, a ANVISA é o órgão responsável por determinar o limite máximo de arsênio em arroz, e tal regulamentação é direcionada para o Mercosul. Portanto, alterar o limite máximo de arsênio em arroz implicaria impactos no comércio exterior. Atualmente tal limite é determinado para arsênio total, e está em revisão. A justificativa é que a diretriz brasileira é mais restritiva que a da FAO, que determina um valor máximo para arsênio inorgânico. A harmonização com diretrizes internacionais pode trazer benefícios em relação ao comércio exterior, entretanto é possível que tal medida permita que o arroz no Brasil tenha maiores concentrações de arsênio inorgânico que o que temos até o momento (ANVISA, 2020).

No que tange o risco voltado para crianças, políticas públicas voltadas para a educação, incentivando a amamentação, retardando a introdução de alimentos e diversificando a alimentação infantil, com ações direcionadas a famílias e profissionais da saúde, poderiam ter um impacto importante na mitigação do risco. A proposição de medidas para lidar com uma realidade em que muitas mães não têm licença maternidade e por isso não conseguem amamentar seriam de grande relevância.

Seguindo os princípios da segurança alimentar, espera-se que as políticas públicas para mitigação dos riscos sejam principalmente direcionadas para agricultura e indústria, de modo que garanta que o arroz chegue aos consumidores com baixo teor de arsênio inorgânico, representando baixo risco à saúde.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SALEH, I.; ABDULJABBAR, M. Heavy metals (lead, cadmium, methylmercury, arsenic) in commonly imported rice grains (*Oryza sativa*) sold in Saudi Arabia and their potential health risk. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. v. 220, n. 7, p. 1168–1178, 2017.
- ALBUQUERQUE, A. de O., Dantas, K.B., Ariadne, M., Gomes Tomé, B., Dos, J., Aire, S., Martins, M.C., 2018. Hábitos Alimentares de Crianças com Até 6 Meses em Alimentação Complementar e/ou Desmame Precoce. *Rev. Enferm. Atual* 86.
- ANTOINE, J. M.R. *et al.* Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports.*, v. 4, n. March, p. 181–187, 2017.
- ANVISA. Relatório de Mapeamento Impactos – REMAI. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília. 2020.
- BATISTA, L. B. *Arsenic and rice: monitoring and (bio)remediation studies for food safety*. Santo André: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.bv.fapesp.br/pt/auxilios/88687/arsenio-e-arroz-monitoramento-e-estudos-de-bioremediacao-para-seguranca-alimentar/>>.
- BORBA, R. P., *et al.* Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 57, n. 1, p. 45–51, 2004.
- BRANDT, E. M., *et al.* *Relatório para Consulta Interna do Grupo de Trabalho de Revisão do Tema II - Padrão de Potabilidade e Planos de Amostragem. 2019. Orientações para Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação N5 de 2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria MS 2.914/).* Brasília: [s.n.], 2019.
- BRASIL. Resolução RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- BRASIL. *LEI Nº 11.346, DE 15 DE SETEMBRO DE 2006.* . [S.l: s.n.], 2006.
- CIMINELLI, V. S.T. *et al.* Dietary arsenic exposure in Brazil: The contribution of rice and beans. *Chemosphere*, v. 168, p. 996–1003, 2017.
- COSTA, R. de V. F. *et al.* Geochemical mapping of arsenic in surface waters and stream sediments of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. p. 43–51, 2015.
- EFSA. *Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population.* . [S.l: s.n.], 2014.
- EMBRAPA. *EMBRAPA em números.* . Brasília, DF: [s.n.], 2017.
- FAO. *Guidance for Risk Management Options in Light of Different Risk Assessment Outcomes. Food Codex Committee on Contaminants in food.* [S.l: s.n.], 2015.
- FERREIRA, C. M. *et al.* *Qualidade do Arroz no Brasil: Evolução e Padronização.* . [S.l: s.n.], 2005.
- FIGUEIREDO, B. R. *et al.* Arsenic occurrence in Brazil and human exposure. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 29, n. 2, p. 109–118, 2007.
- FLEURY, S. *et al.* Exposure to contaminants and nutritional intakes in a French vegetarian population. *Food and Chemical Toxicology*, v. 109, p. 218–229, 2017.
- FU, Q. L. *et al.* Concentrations of Heavy Metals and Arsenic in Market Rice Grain and Their Potential Health Risks to the Population of Fuzhou, China. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 21, n. 1,

p. 117–128, 2015.

GARCIA-CASAL, M. N. *et al.* Risk of excessive intake of vitamins and minerals delivered through public health interventions: objectives, results, conclusions of the meeting, and the way forward. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1446, n. 1, p. 5–20, 2019.

GROSS, B.L.; ZHAO, Z. Archaeological and genetic insights into the origins of domesticated rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 2014.

HAMPL, L; KUBÁTOVÁ, J; STÁRKA, L. Steroids and endocrine disruptors—History, recent state of art and open questions. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, v. 155, p. 217–223, 1 jan. 2016.

HEALTH CANADA. *Guidance on human health detailed quantitative risk assessment for chemicals*. . Ottawa: [s.n.], 2010.

HONG, Y.; SONG, K; CHUNG, J.. Health Effects of Chronic Arsenic Exposure. p. 245–252, 2014.

HUANG, Z. *et al.* Health risk assessment of heavy metals in rice to the population in Zhejiang, China. *PLoS One* 8, (Huang et al., 2013^a em Saleh 2017), 2013.

IARC. *Agents Classified by the IARC Monographs , Volumes 1 – 116*. . [S.l: s.n.], 2020.

IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018: análise de consumo alimentar pessoal no Brasil. 2020

IBGE. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009. Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.

JAISHANKAR, M. *et al.* Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, v. 7, n. 2, 2014.

JALLAD, K. N. Heavy metal exposure from ingesting rice and its related potential hazardous health risks to humans. *Environ. Sci. Pollut.*, em Saleh 2017, 2015.

JOINT FAO/WHO. *Code of Practice for the Prevention and Reduction of Arsenic Contamination in Rice*. Geneva: [s.n.], 2017.

JOINT FAO/WHO. *Evaluation of certain contaminants in food. Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. [S.l: s.n.], 2011a.

JOINT FAO/WHO. *EVALUATION OF CERTAIN FOOD ADDITIVES AND CONTAMINANTS. Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. Geneva: [s.n.], 2011b.

JOINT FAO/WHO. *Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods, 8th Session; World Health Organization*. . Geneva: [s.n.], 2014.

KESHAVARZI, B. *et al.* Macronutrients and trace metals in soil and food crops of Isfahan Province, Iran. *Environ. Monit. Assess.*, Saleh 2017), 2015.

LEROUX, I. N. *et al.* Lead, cadmium, and arsenic bioaccessibility of 24 h duplicate diet ingested by preschool children attending day care centers in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 8, p. 5–7, 2018.

LIN, K. *et al.* The arsenic contamination of rice in Guangdong Province, the most economically dynamic provinces of China: arsenic speciation and its potential health risk. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 37, n. 2, p. 353–361, 2015.

LIU, Z. *et al.* Heavy metal pollution in a soil-rice system in the Yangtze river region of China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.

MILLER, G. W.; JONES, D. P. The nature of nurture: Refining the definition of the exposome. *Toxicological Sciences*, v. 137, n. 1, p. 1–2, 2014.

MORISSET, T. *et al.* Probabilistic mercury multimedia exposure assessment in small children and risk assessment. *Environment international*, v. 59, p. 431–41, set. 2013.

- NARDOCCI, A. C. Avaliação probabilística de riscos da exposição aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) para a população da cidade de São Paulo. *tese de livre docência - Universidade de São Paulo*, 2010.
- NAUJOKAS, M.F. *et al.* The broad scope of health effects from chronic arsenic exposure: update on a worldwide public health problem. *Environ. Health Perspect.*, 2013.
- NETO, M. C. V. *et al.* Lead contamination in food consumed and produced in Brazil: Systematic review and meta-analysis. *Food Research International*, 2019.
- NIKOLAIDIS, C. *et al.* Public health risk assessment associated with heavy metal and arsenic exposure near an abandoned mine (Kirki, Greece). *International journal of environmental health research*, v. 23, n. 6, p. 507–19, dez. 2013.
- NRC. *Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process*. [S.l: s.n.], 1983.
- ONUBR. Objetivos de desenvolvimento sustentável 1, 2, 3, 5, 9 e 14. *Nações Unidas no Brasil*, n. Documentos temáticos, p. 107, 2017.
- PEDRON, T. *et al.* Essential and non-essential elements in Brazilian infant food and other rice-based products frequently consumed by children and celiac population. *Journal of Food Composition and Analysis* v. 49, p. 78–86, 2016.
- PELLETIER, By Greg; BOX, P O. YASAIw . xla – A modified version of an open - source add - in for Excel to provide additional functions for Monte Carlo simulation . Installing YASAIw. v. 7710, n. June, 2009.
- RAHMAN, M. M.; ASADUZZAMAN, M.; NAIDU, R.. Consumption of arsenic and other elements from vegetables and drinking water from an arsenic-contaminated area of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, v. 262, p. 1056–1063, 2013.
- SAKUMA, A. M. *et al.* Arsenic exposure assessment of children living in a lead mining area in Southeastern Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 26, n. 2, p. 391–398, 2010.
- SÃO PAULO. *Manual de Orientação para Centros de Educação Infantil — CEI. Esquema Alimentar e Porcionamentos*. . Sao Paulo: [s.n.], 2011a.
- SÃO PAULO. *Manual de Orientação para EMEI e EMEF Esquema Alimentar e Porcionamentos*. 2011b.
- SHARMA, S., *et al.* Geochemical relationship and translocation mechanism of arsenic in rice plants: A case study from health prone south west Punjab, India. *Groundw. Sustain..* 2020
- SHIBATA, T *et al.* Risk assessment of arsenic in rice cereal and other dietary sources for infants and toddlers in the U.S. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 13, n. 4, 2016.
- SOMBRA, P.V., *et al.* Alimentação complementar e ingestão de alimentos industrializados em crianças menores de três anos. *Saúde e Desenvol. Hum.* 5, 45. 2017
- SWARTJES, F. a. Human health risk assessment related to contaminated land: state of the art. *Environmental Geochemistry and Health*, p. 651–673, 2015.
- TCHOUNWOU, P.B.; YEDJOU, C.G.; PATLOLLA, A.K.SUTTON, D.J. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 2012.
- U.S. EPA. *Exposure Factors Handbook Chapter 3 (Update): Ingestion of Water and Other Select Liquids*. . Washington, DC, EPA/600/R-18/259F: [s.n.], 2019.
- U.S. EPA. Risk Assessment Forum White Paper : Probabilistic Risk Assessment Methods and Case Studies. *U.S. Environmental Protection Agency*, 2014.
- U.S. EPA. Child-Specific Exposure Factors Handbook. *Epa/600/R-06/096F*, n. September, p. 448pp, 2009.

U.S. EPA. Supplemental Guidance for Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens. *U.S. Environmental Protection Agency*, 2005.

U.S. EPA. *Chemical Assessment Summary: Arsenic (Inorganic). IRIS - Integrated Risk Information System*. [S.l: s.n.], 1995.

U.S. EPA. *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. *U.S. Environmental Protection Agency*. [S.l: s.n.], 1989.

U.S. FDA. *Arsenic in Rice and Rice Products Risk Assessment Report*. . [S.l: s.n.], 2016.

U.S.FDA. Inorganic Arsenic in Rice Cereals for Infants: Action Level Guidance for Industry Table of Contents. 2020

UPADHYAY, M. K. *et al.* An assessment of arsenic hazard in groundwater–soil–rice system in two villages of Nadia district, West Bengal, India. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 41, n. 6, p. 2381–2395, 2019.

WHO. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition - chapter 8. *Guideline for Drinking Water*, Chapter 8, p. 155–201, 2017.

WHO. *List of Classifications, Volumes 1–119*. . [S.l: s.n.], 2012.

ZHAO, Fang-Jie; MCGRATH, Steve P.; MEHARG, Andrew A. Arsenic as a Food Chain Contaminant: Mechanisms of Plant Uptake and Metabolism and Mitigation Strategies. *Annual Review of Plant Biology*, v. 61, n. 1, p. 535–559, 2010.

8. CURRÍCULOS LATTES



Adelaide Cassia Nardocci

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/7211771211059721>

ID Lattes: 7211771211059721

Última atualização do currículo em 18/05/2021

Sou Bacharel em Física pela Universidade Estadual de Londrina (1987), mestre em Engenharia Nuclear pela Coordenação dos Programas de Pós Graduação Em Engenharia (COPPE/UFRJ) (1990) e doutora em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (1999). Tenho pós-doutorado pela Universidade de Bologna (2008) e Livre-docência pela USP (2010). Sou professora associada do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Minha atividade de pesquisa atual tem ênfase em métodos quantitativos de avaliação de exposição e riscos associados a exposição ambiental a agentes químicos e microbiológicos; vigilância em saúde ambiental de água de abastecimento público, análise espacial de dados de saúde e ambiente. (Texto informado pelo autor)

Identificação

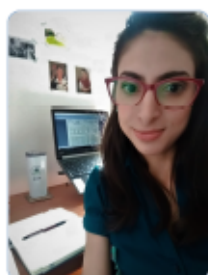
Nome	Adelaide Cassia Nardocci
Nome em citações bibliográficas	NARDOCCI, A. C.; NARDOCCI, ADELAIDE CÁSSIA; NARDOCCI, ADELAIDE CÁSSIA; NARDOCCI, ADELAIDE C.; NARDOCCI, A.C.; NARDOCCI, ADELAIDE
Lattes iD	http://lattes.cnpq.br/7211771211059721
Orcid iD	https://orcid.org/0000-0002-0961-4725

Endereço

Endereço Profissional	Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. AVENIDA DR ARNALDO, 715 CERQUEIRA CESAR 01246904 - São Paulo, SP - Brasil Telefone: (11) 30617887 Fax: (11) 30617732 URL da Homepage: www.fsp.usp.br
-----------------------	---

Formação acadêmica/titulação

1995 - 1999	Doutorado em Saúde Pública (Conceito CAPES 6). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: Risco como Instrumento de gestão ambiental, Ano de obtenção: 1999. Orientador: Carlos Celso do Amaral e Silva. Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil. Palavras-chave: avaliação de riscos; gestão ambiental; gerenciamento de riscos; saúde ambiental. Grande área: Ciências da Saúde
1988 - 1990	Mestrado em Engenharia Nuclear. Coordenação dos Programas de Pós Graduação Em Engenharia, COPPE/UFRJ, Brasil. Título: Desenvolvimento de um sistema de medidas de conteúdo mineral ósseo `in vivo` usando raios gama monoenergéticos, Ano de Obtenção: 1990. Orientador: Ricardo Tadeu Lopes. Bolsista do(a): Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, Brasil. Palavras-chave: Atenuacao da Radiação; Densidade Ossea; Instrumentacao Nuclear; interação da radiação com a matéria. Grande área: Engenharias
1983 - 1987	Graduação em Bacharel em Física. Universidade Estadual de Londrina, UEL, Brasil. Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil.



Michele Cavalcanti Toledo


Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/2875583221140798>

ID Lattes: 2875583221140798

Última atualização do currículo em 22/06/2021


Doutoranda na área de Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP), cujo tema de pesquisa é avaliação probabilística de riscos à saúde humana. Mestre em Ciências, na área de Saúde Ambiental, e bacharela em Gestão Ambiental, ambas pela Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Ciências Ambientais e riscos à saúde humana. É integrante do Núcleo de Pesquisa de Avaliação de Riscos Ambientais da Faculdade de Saúde Pública da USP (NARA). (Texto informado pelo autor)

Identificação

Nome	Michele Cavalcanti Toledo 
Nome em citações bibliográficas	TOLEDO, M. C.
Lattes iD	 http://lattes.cnpq.br/2875583221140798

Endereço

Formação acadêmica/titulação

2016	Doutorado em andamento em Saúde Pública (Conceito CAPES 6). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Orientador: Adelaide Cassia Nardocci.
2014 - 2016	Mestrado em Saúde Pública (Conceito CAPES 6). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: Avaliação probabilística de risco à saúde em área contaminada por agentes químicos., Ano de Obtenção: 2016. Orientador:  Adelaide Cassia Nardocci. Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil. Grande área: Ciências da Saúde Grande Área: Outros / Área: Ciências Ambientais.
2008 - 2012	Graduação em Gestão Ambiental. Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: Caracterização Ambiental e de Saúde de alguns municípios das bacias do Piracicaba/Capivari/Jundiá. Orientador: Helene Mariko Ueno.

Formação Complementar

2019 - 2019	Monte Carlo Simulation and Probability Bounds Analysis in R with Hardly Any. (Carga horária: 8h). Society for Risk Analysis, SRA, Estados Unidos.
2019 - 2019	Probabilistic Dose-Response Assessment: Guidance from the World Health Orga. (Carga horária: 8h). Society for Risk Analysis, SRA, Estados Unidos.
2016 - 2016	Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco. (Carga horária: 40h). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, Brasil.
2016 - 2016	Cumulative risk assessment: addressing combined environmental stressors. (Carga horária: 8h). Society for Risk Analysis, SRA, Estados Unidos.
2015 - 2015	SETAC Training Course: An Introduction to Ecologic. (Carga horária: 4h). Society of Environmental Toxicology and Chemistry - North America, SETAC, Estados Unidos.