

CARINA APARECIDA PINTO

**CONCENTRAÇÃO DE IODO NA ÁGUA DE CONSUMO E SUA POSSÍVEL
CONTRIBUIÇÃO NA INGESTÃO DO MICRONUTRIENTE: EMDI - BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Nutrição, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Silvia Eloiza Priore

Coorientadoras:

Edimar Aparecida Filomeno Fontes
Sandra Patricia Crispim
Sarah Aparecida Vieira Ribeiro
Sylvia do C. Castro Franceschini

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P659c
2022 Pinto, Carina Aparecida, 1980-
Concentração de iodo na água de consumo e sua possível
contribuição na ingestão do micronutriente: EMDI - Brasil /
Carina Aparecida Pinto. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (120 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Sílvia Eloiza Priore.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Nutrição e Saúde, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.608>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ingestão alimentar. 2. Iodo. 3. Água potável. 4. Estado
nutricional. 5. Saúde pública. I. Priore, Sílvia Eloiza, 1957-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Nutrição e
Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Nutrição.
III. Título.

CDD 22. ed. 612.3

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

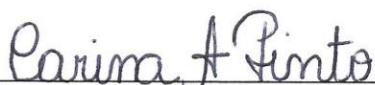
CARINA APARECIDA PINTO

**CONCENTRAÇÃO DE IODO NA ÁGUA DE CONSUMO E SUA POSSÍVEL
CONTRIBUIÇÃO NA INGESTÃO DO MICRONUTRIENTE: EMDI - BRASIL**

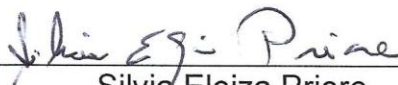
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Nutrição, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de julho de 2022.

Assentimento:



Carina Aparecida Pinto
Autora



Sílvia Eloiza Priore
Orientadora

Dedico este trabalho aos pesquisadores brasileiros que mesmo diante dos obstáculos e das dificuldades enfrentadas se dedicam a realizar uma pesquisa de qualidade que proporciona benefícios para a sociedade brasileira.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força, determinação e serenidade para enfrentar as dificuldades e obstáculos que encontrei ao longo do doutorado e por me permitir chegar até este momento.

Aos meus pais, Seli Alves Pinto e Carlos Alberto Pinto por me apoiarem ao longo da minha caminhada e por me ajudarem em vários momentos da minha vida. Minha eterna gratidão.

Ao meu irmão Cássio Geraldo Pinto por ser um exemplo pra mim de persistência, ser humano e amigo, o qual sempre esteve ao meu lado e me ajudou em todos os momentos.

À Dayane de Castro Morais pela amizade, carinho, companheirismo e pela parceira na escrita dos artigos, sempre fazendo ótimas contribuições nos trabalhos.

À Sílvia Oliveira Lopes pela amizade, carinho e pelas histórias que construímos juntas.

À Núbia de Souza de Morais pela amizade, carinho, ajuda e por compartilharmos vários momentos juntas.

À equipe do EMDI – Brasil de Viçosa em especial à Aline, Francilene, Almeida e Débora. Muito obrigada pela parceira e por compartilharem o conhecimento comigo.

Às companheiras da Pós Graduação Lucimar, Elizangela, Lívia, Raquel, Luiza, Ariane e Sheila pela ajuda, parceria e convivência.

À orientadora Sílvia Eloiza Priore por me incentivar em todos os momentos, pelas oportunidades que foram dadas, por acreditar em mim, por me ajudar e acolher nos momentos mais difíceis. Muito obrigada por todos os ensinamentos e conselhos. A admiro muito e é pra mim um grande exemplo de professora e ser humano.

À professora Sílvia do Carmo Castro Franceschini por me acolher na equipe do EMDI – Brasil de Viçosa. Muito obrigada pela orientação e pelos ensinamentos.

Às professoras Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patrícia Crispim e Sarah Aparecida Vieira pela orientação e contribuição na leitura dos trabalhos.

À equipe do laboratório de pesquisa de Química e Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, em

especial à professora Edimar pelo acolhimento e pelos ensinamentos e as estudantes de Iniciação Científica Carla, Carolina, Amanda e Beatris pelo aprendizado nas análises e pela parceria e convivência.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Nutrição, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processos 408295/2017-1 e 439075/2018-1, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – Processo APQ-03336-18.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram chegar até aqui. Meu muito obrigada!!!

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito!”.

(Martin Luther King)

RESUMO

PINTO, Carina Aparecida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2022. **Concentração de iodo na água de consumo e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente: EMDI - Brasil.** Orientadora: Silvia Eloiza Priore. Coorientadoras: Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patricia Crispim, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro e Sylvia do Carmo Castro Franceschini.

Introdução: O iodo é um micronutriente essencial para o ser humano e parte constituinte dos hormônios tireoidianos. Ele está presente naturalmente na água de consumo e, em determinadas regiões, a concentração de iodo na água pode apresentar contribuição importante no consumo do micronutriente. Diante disso, determinar a concentração de iodo na água de consumo é fundamental para conhecer a contribuição desta na ingestão do mineral. **Objetivo:** Analisar a concentração de iodo na água de consumo e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente. **Metodologia:** Este estudo faz parte do Estudo Multicêntrico de Deficiência de Iodo (EMDI-Brasil). As revisões sistemáticas foram elaboradas seguindo as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA)* e avaliou-se a qualidade metodológica dos artigos incluídos em cada revisão sistemática por meio de instrumentos específicos. As amostras de água analisadas foram coletadas nas Unidades Básicas de Saúde de nove municípios que compõem as diferentes macrorregiões brasileiras, e do Distrito Federal. A coleta das amostras ocorreu nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera. Utilizou-se o método espectrofotométrico “leuco cristal violeta” para determinar a concentração de iodo na água. Para inferir a possível contribuição da água de consumo na ingestão de iodo nos diferentes grupos fisiológicos, considerou-se a ingestão hídrica recomendada pelo Instituto de Medicina dos Estados Unidos (2004). A Necessidade Média Estimada (EAR) de iodo foi utilizada para calcular o percentual do micronutriente na água de consumo e consequentemente, sua contribuição na ingestão de iodo nos diferentes grupos fisiológicos. Realizou-se estatística descritiva dos dados. Para verificar se houve diferença na concentração de iodo na água entre as estações climáticas do ano, de um mesmo local e entre as mesmas estações, em diferentes localidades utilizou-se os testes de *Mann-Whitney* ou *Kruskal-Wallis* e considerou-se significância ao nível de 5% ($p < 0,05$). **Resultados:** Em relação às revisões sistemáticas, verificou-se que

os fatores ambientais estão relacionados ao estado nutricional de iodo e que determinados fatores ambientais e químicos interferem na concentração do mineral na água de consumo. De acordo com os artigos originais, foram observadas diferenças significativas entre a concentração máxima e mínima de iodo nas amostras de água de uma mesma localidade. As concentrações máximas de iodo encontradas na água de consumo de Pinhais e de Viçosa poderiam contribuir com mais de 70,0% e de 50,0% na ingestão diária do micronutriente em todos os grupos fisiológicos, respectivamente. Entre as estações climáticas de uma mesma localidade, verificou-se diferença na concentração de iodo na água de consumo do município de Pinhais, entre as estações outono e verão ($p=0,041$) e inverno e verão ($p=0,003$). Também se verificou diferença na concentração de iodo na água nas estações verão, outono, inverno e primavera, entre as diferentes localidades ($p<0,05$). **Conclusão:** A água de consumo pode apresentar contribuição importante na ingestão de iodo e deve ser considerada na avaliação do estado nutricional do mineral. Além disso, o monitoramento da concentração de iodo na água é uma forma de evitar a ingestão inadequada do micronutriente e possíveis efeitos no estado de saúde da população.

Palavras-chave: Iodo. Água Potável. Consumo Alimentar. Estado Nutricional. Saúde Pública.

ABSTRACT

PINTO, Carina Aparecida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2022. **Iodine concentration in drinking water and its possible contribution to micronutrient intake: EDMI - Brazil.** Adviser: Silvia Eloiza Priore. Co-advisers: Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patricia Crispim, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro and Sylvia do Carmo Castro Franceschini.

Introduction: Iodine is an essential micronutrient for humans and a constituent part of thyroid hormones. It is naturally present in drinking water and, in certain regions, the concentration of iodine in the water can make an important contribution to the consumption of the micronutrient. Therefore, determining the concentration of iodine in drinking water is essential to know its contribution to the intake of the mineral.

Objective: To analyze the concentration of iodine in drinking water and its possible contribution to the intake of the micronutrient. **Methodology:** This study is part of the

Multicenter Study of Iodine Deficiency (MSID-Brazil). Systematic reviews were prepared following the recommendations of the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) and the methodological quality of the articles included in each systematic review was evaluated using specific instruments. The analyzed water samples were collected in the Basic Health Units of nine municipalities that make up the different Brazilian macro-regions, and in the Federal District. Sample collection took place in the summer, autumn, winter and spring seasons. The spectrophotometric method “leuco cristal violet” was used to determine the concentration of iodine in the water. To infer the possible contribution of drinking water to iodine intake in different physiological groups, the water intake recommended by the US Institute of Medicine (2004) was considered. The Estimated Average Need (EAN) of iodine was used to calculate the percentage of the micronutrient in drinking water and, consequently, its contribution to iodine intake in different physiological groups. Descriptive statistics of the data were performed. To verify if there was a difference in the concentration of iodine in the water between the climatic seasons of the year, in the same place and between the same seasons, in different locations, the Mann-Whitney or Kruskal-Wallis tests were used and significance was considered level of 5% ($p < 0.05$). **Results:** Regarding the systematic reviews, it was found that environmental factors are related to the nutritional status of iodine and that certain environmental and chemical factors interfere with the

concentration of the mineral in drinking water. According to the original articles, significant differences were observed between the maximum and minimum concentration of iodine in water samples from the same location. The maximum concentrations of iodine found in drinking water from Pinhais and Viçosa could contribute with more than 70.0% and 50.0% in the daily intake of the micronutrient in all physiological groups, respectively. Among the climatic seasons of the same location, there was a difference in the concentration of iodine in the drinking water of the municipality of Pinhais, between the autumn and summer seasons ($p=0.041$) and winter and summer ($p=0.003$). There was also a difference in the concentration of iodine in the water in the seasons summer, autumn, winter and spring, between the different locations ($p<0.05$). **Conclusion:** Drinking water can make an important contribution to iodine intake and should be considered in the assessment of the nutritional status of the mineral. In addition, monitoring the concentration of iodine in water is a way to avoid inadequate intake of the micronutrient and possible effects on the health status of the population.

Keywords: Iodine. Potable Water. Food Consumption. Nutritional Status. Public Health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo de Revisão Sistemática 1

Figura 1 – Etapas da elaboração da revisão sistemática	37
Quadro 1 - Descrição dos estudos incluídos na revisão sistemática	39
Figura 2 – Concentração de iodo na água e sua relação com o estado nutricional deste mineral	43
Figura 3 – Região da população investigada e sua relação com o estado nutricional de iodo	44

Artigo de Revisão Sistemática 2

Figura 1 – Etapas da elaboração da revisão sistemática	57
Figura 2 - Países onde as amostras de água para consumo foram avaliadas com suas respectivas concentrações de iodo	58
Figura 3 – Fatores ambientais que interferem na concentração de iodo na água de consumo.	59
Figura 4 – Fatores físico-químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo	59
Figura 5 - Avaliação da qualidade dos estudos incluídos na revisão sistemática	60

Artigo Original 1

Quadro 1 – Localidade, região brasileira e número de amostras de água analisadas em cada local	70
Figura 1 - Curva analítica ajustada para quantificação de iodo nas amostras de água coletadas nas localidades que contemplam as cinco macrorregiões brasileiras	73
Quadro 2 – Valores mínimos, máximos (μg) e percentuais de iodo na água de consumo dos diferentes locais e sua contribuição mínima e máxima na ingestão do micronutriente nos diferentes grupos fisiológicos	78

Artigo Original 2

Figura 1 – Estações de Tratamento de Água (ETA) e poços de água 89
subterrânea que abastecem as Unidades Básicas de Saúde (UBS) de um
município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil

Figura 2 - Variação da concentração de iodo em amostras de água coletadas 94
em 13 Unidades Básicas de Saúde de um município da Zona da Mata do estado
de Minas Gerais, em dois momentos diferentes

Artigo Original 3

Quadro 1 – Concentração mediana, mínima e máxima de iodo nas amostras 107
de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) durante as
diferentes estações climáticas dos locais pertencentes às macrorregiões
brasileiras

LISTA DE TABELAS

Artigo Original 1

Tabela 1 – Percentual por classificação da concentração de iodo nas amostras de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) dos locais pertencentes às macrorregiões brasileiras 75

Tabela 2 - Concentração mediana, mínima e máxima de iodo nas amostras de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) dos locais pertencentes às macrorregiões brasileiras 76

Artigo Original 2

Tabela 1 – Concentração média de iodo nas amostras de água coletadas na entrada (água bruta) e saída (água tratada) das Estações de Tratamento de Água (ETA) e dos poços de água subterrânea de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil 91

Tabela 2 - Concentração média de iodo nas amostras de água para consumo em diferentes Unidades Básicas de Saúde (UBS) abastecidas por Estações de Tratamento de Água (ETA) e poços de água subterrânea de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil 92

Tabela 3 – Classificação da concentração de iodo na água tratada das Estações de Tratamento de Água (ETA), poços de água subterrânea e Unidades Básicas de Saúde (UBS) de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil 93

Artigo Original 3

Tabela 1 – Localidade, macrorregião e número de amostras de água coletadas por estação climática – Brasil 104

Tabela 2 - Comparação da concentração de iodo na água de consumo entre as estações climáticas de um mesmo local 105

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMSTAR *Assessment of Multiple Systematic Reviews.*

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil.

CDC *Centers for Disease Control.*

CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

DDI Distúrbios por Deficiência de Iodo.

DF Distrito Federal.

E/I Estatura por Idade.

ES Espírito Santo.

ETA Estação de Tratamento de Água.

FAPEMIG Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

FT4 Tiroxina Livre.

ICCDDI International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders.

IMC/I IMC por Idade.

IOM Instituto de Medicina.

IU Iodo Urinário.

L Litro.

LILACS Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde.

JBI *The Joanna Briggs Institute.*

MA Maranhão.

MeSH *Medical Subject Headings.*

mg Miligrama.

µg Micrograma.

MG Minas Gerais.

mL Mililitro.

MS Ministério da Saúde.

MT Mato Grosso.

OMS Organização Mundial da Saúde.

P/I Peso por Idade.

PNAISAL Pesquisa Nacional para Avaliação do Impacto da Iodação do Sal.

POF Pesquisa de Orçamentos Familiares.

PR Paraná.

PRISMA *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews.*

PROSPERO International Prospective Register of Ongoing Systematic Reviews.

PubMed Publisher Medline.

RJ Rio de Janeiro.

SAS Statistical Analysis Systems.

SE Sergipe.

SISAB Sistema de Informação em Saúde da Atenção Básica.

SP São Paulo.

SPSS Statistical Package for the Social Sciences.

T3 Triiodotironina.

T4 Tiroxina.

Tg Tireoglobulina.

TO Tocantins.

TSH Hormônio Estimulante da Tireoide.

UBS Unidade Básica de Saúde.

UFES Universidade Federal do Espírito Santo.

UFMA Universidade Federal do Maranhão.

UFMT Universidade Federal do Mato Grosso.

UFPR Universidade Federal do Paraná.

UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro.

UFS Universidade Federal de Sergipe.

UFT Universidade Federal do Tocantins.

UFV Universidade Federal de Viçosa.

UnB Universidade de Brasília.

UNICEF United Nations Children's Fund.

USP Universidade de São Paulo.

WHO World Health Organization.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	18
2. INTRODUÇÃO	19
3. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivo Geral	22
3.2. Objetivos Específicos	22
4. METODOLOGIA	23
4.1. Delineamento do Estudo	23
4.2. Locais do Estudo	23
4.3. População do Estudo	23
4.4. Critérios de Inclusão e Exclusão	24
4.5. Cálculo Amostral e Amostragem	24
4.6. Análise Química	26
4.6.1. Reagentes e soluções	26
4.6.2. Determinação da concentração de iodo na água de abastecimento e de consumo	26
4.6.2.1. Coletas das amostras de água nas Estações de Tratamento de Água e nos poços	26
4.6.2.2. Coleta das amostras de água de consumo nas Unidades Básicas de Saúde	27
4.6.2.3. Curva analítica	28
4.6.2.4. Quantificação de iodo na água de abastecimento e de consumo	29
4.7. Classificação da concentração de iodo na água de abastecimento e de consumo	29
4.8. Cálculo da contribuição da água de consumo na ingestão do micronutriente	29
4.9. Análise Estatística	30
4.10. Financiamento	30
4.11. Aspectos Éticos	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Artigos de Revisão Sistemática	33
5.1.1. Fatores ambientais relacionados ao estado nutricional de iodo: revisão sistemática	33
5.1.2. Fatores ambientais, físicos e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo: revisão sistemática	53
5.2. Artigos Originais	67

5.2.1. Concentração de iodo na água de consumo brasileira e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente em diferentes grupos fisiológicos	67
5.2.2. Concentração de iodo na água distribuída para abastecimento e consumida pela população de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais-Brasil	86
5.2.3. Iodine concentration in drinking water in the same or different seasons on the year in Brazilian macro-regions	101
6. CONCLUSÕES	113
APÊNDICES	114
APÊNDICE A - Reagentes e soluções utilizadas na determinação da concentração de iodo na água	114
APÊNDICE B - Estratégia de busca nas bases de dados	116
ANEXOS	118
ANEXO A - Parecer de aprovação pelo Comitê de Ética	119
ANEXO B - Aceite do artigo para publicação no Journal of Nutrition and Metabolism	120

1. APRESENTAÇÃO

Esta tese está estruturada da seguinte forma:

- Introdução: contextualização e justificativa do tema abordado;
- Objetivos: geral e específicos que nortearam a realização da pesquisa;
- Metodologia: com detalhamento de todas as etapas, técnicas e procedimentos metodológicos aplicados no desenvolvimento da pesquisa;
- Resultados: apresentados na forma de artigos, sendo dois de revisão sistemática e três originais;
- Conclusões: evidenciando os achados dos estudos e análise crítica.

As citações realizadas no corpo do texto estão listadas na sessão de Referências, apresentadas no final de cada item e artigo científico.

2. INTRODUÇÃO

O iodo é um micronutriente essencial para o organismo humano, necessário para o adequado funcionamento da glândula tireoide e responsável pela síntese dos hormônios tireoidianos Triiodotironina (T3) e Tiroxina (T4). Estes hormônios são fundamentais no desenvolvimento fetal, na regulação metabólica das células e no crescimento físico e neurológico dos seres humanos (LEE; ANANTHAKRISHANN; PEARCE, 2006; ZIMMERMANN, 2009).

A ingestão inadequada, insuficiente ou excessiva de iodo pode provocar alterações na glândula tireoide, levando ao desenvolvimento dos distúrbios por deficiência ou excesso de iodo (TENG *et al.*, 2006; WHO, 2007).

Dentre as manifestações dos distúrbios por deficiência de iodo têm-se o bócio e o cretinismo, sendo este último responsável por danos cerebrais irreversíveis no feto. Além disso, a deficiência de iodo pode provocar retardos no desenvolvimento e crescimento físico das crianças, e nas gestantes pode acarretar abortos, natimortos, anomalias congênitas e aumento da mortalidade perinatal (BRASIL, 2007; WHO, 2007).

Em relação aos distúrbios por excesso de iodo, ocorre o desenvolvimento do bócio nodular, hipertireoidismo e tireoidite de Hashimoto (TENG *et al.*, 2006; ZHAO *et al.*, 2014).

O iodo está presente naturalmente na água, e sua concentração na água para consumo pode variar de 0,1 a 150 $\mu\text{g/L}$ em diferentes localidades, apresentando contribuição importante no consumo do micronutriente e conseqüentemente, no estado de saúde da população (JOHNSON, 2003; FUGE; JOHNSON, 2015).

O primeiro país do mundo a relatar casos de bócio decorrentes do excesso de iodo na água para consumo foi a China (SHEN *et al.*, 2011). Neste país realizou-se uma investigação nacional para mapear a distribuição geográfica da água para consumo e observou-se que a água com concentração de iodo superior a 300 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ resultou em maior excreção urinária de iodo, tendo como consequência maior prevalência de bócio (11,0%) em escolares de 8 a 10 anos (SHEN *et al.*, 2011).

Grande parte dos estudos na literatura referente à concentração de iodo na água é realizada na China (LI *et al.*, 1987; LV; RUTHERFORD; DU, 2012; LI *et al.*, 2016; LU *et al.*, 2017; XUE *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2021). Estes estudos permitem a identificação de regiões com insuficiência ou excesso de iodo na água

possibilitando o estabelecimento de políticas públicas específicas para estas regiões. O Brasil, ao contrário, não dispõe de pesquisas que avaliam a concentração de iodo na água de consumo da população nas diferentes regiões brasileiras.

Assim, tendo em vista a importância do iodo na saúde da população e a contribuição da água de consumo na ingestão do micronutriente, torna-se necessário a realização de um estudo que faça este mapeando da concentração de iodo na água do Brasil, possibilitando a identificação de regiões com baixa, alta concentração ou excesso de iodo na água e conseqüentemente, o adequado direcionamento das políticas públicas em relação ao iodo.

Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. UNICEF. **Cadernos de Atenção Básica: Carência de Micronutrientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60p.

FUGE, R.; JOHNSON, C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. **Applied Geochemistry**, v. 63, p. 282-302, 2015.

JOHNSON, C.C. The geochemistry of iodine and its application to environmental strategies for reducing the risks from iodine deficiency disorders. British Geological Survey Commissioned Report, 2003. 54 p.

LEE, S. L.; ANANTHAKRISHNAN, S.; PEARCE, E. N. Iodine deficiency. 2006. Disponível em: <http://www.emedicine.com/med/fulltopic/topic1187.htm#section-Treatment>. Acesso em: 02 mai. 2019.

LI, M. *et al.* Endemic goiter in Central China caused by excessive iodine intake. **The Lancet**, v. 2, p. 257-259, 1987.

LI, J. *et al.* Effects of water-sediment interaction and irrigation practices on iodine enrichment in shallow groundwater. **Journal of Hydrology**, v. 543, p. 293-304, 2016.

LU, C. S. *et al.* Surveys in Areas of High Risk of Iodine Deficiency and Iodine Excess in China, 2012-2014: Current Status and Examination of the Relationship between Urinary Iodine Concentration and Goiter Prevalence in Children Aged 8-10 Years. **Biomedicine Environmental Science**, v. 30, n. 2, p. 88-96, 2017.

LV, S.; RUTHERFORD, S.; DU, Y. An epidemiological survey of children's iodine nutrition and goitre status in regions with mildly excessive iodine in drinking water in Hebei Province, China – Corrigendum. **Public Health Nutrition**, v. 15, n. 7, p.168-173, 2012.

SHEN, H. *et al.* Geographical distribution of drinking-water with high iodine level and association between high iodine level in drinking-water and goitre: a Chinese national investigation. **British Journal of Nutrition**, v. 106, p. 243-247, 2011.

TENG, W. P. *et al.* Effect of iodine intake on thyroid diseases in China. **The New England Journal of Medicine**, v. 354, p. 2783-2793, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND/INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE CONTROL OF IODINE DEFICIENCY DISORDERS. **Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers: a guide for programme managers**. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2007. 108p.

XUE, X. *et al.* Effects of depositional environment and organic matter degradation on the enrichment and mobilization of iodine in the groundwater of the North China Plain. **Science of the Total Environment**, 686, p. 50-62, 2019.

YANG, Z. *et al.* Investigation on spatial variability and influencing factors of drinking water iodine in Xinjiang, China. **PLoS ONE**, v. 16, n. 12, p. 1-16, 2021.

ZHAO, H. Q. *et al.* Correlation between iodine intake and thyroid disorders: A cross-sectional study from the South of China. **Biological Trace Element Research**, v. 162, p. 87-94, 2014.

ZIMMERMANN, M. B. Iodine deficiency. **Endocrine Reviews**, v. 30, n. 4, p. 376-408, 2009.

3. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar a concentração de iodo na água de consumo e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente.

Objetivos Específicos

- Analisar os fatores ambientais relacionados ao estado nutricional de iodo.
- Analisar os fatores ambientais e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo.
- Analisar a concentração de iodo na água de consumo brasileira e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente em diferentes grupos etários.
- Avaliar a concentração de iodo na água distribuída para abastecimento e consumida pela população de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.
- Comparar a concentração de iodo na água de consumo, na mesma ou em diferentes estações climáticas do ano, nas macrorregiões brasileiras.

4. METODOLOGIA

4. 1. Delineamento do Estudo

Trata-se de um estudo transversal desenvolvido na zona urbana das cinco macrorregiões brasileiras. Este estudo é uma extensão do projeto intitulado “Estado nutricional de iodo, sódio e potássio no grupo materno-infantil brasileiro: um estudo multicêntrico”, tendo como objetivo avaliar os fatores associados ao estado nutricional de iodo, sódio e potássio em gestantes, nutrizes e lactentes em diferentes regiões brasileiras. O estudo maior foi aprovado pela Chamada CNPq/MS/SCTIE/SAS/DAB/SEGANnº13/2017/Pesquisas em Alimentação e Nutrição e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Viçosa com número de parecer 2.496.986 (ANEXO A).

O estudo foi desenvolvido nas cinco macrorregiões brasileiras por meio de recortes transversais ao longo da gestação e período de lactação, sendo um estudo multicêntrico, observacional e de base populacional.

4. 2. Locais do Estudo

O estudo foi desenvolvido em 10 municípios, distribuídos em nove estados e no Distrito Federal, abrangendo as cinco macrorregiões brasileiras.

Os municípios contemplados na pesquisa foram: Aracaju (SE), Brasília (DF), Macaé (RJ), Palmas (TO), Pinhais (PR), Ribeirão Preto (SP), Rondonópolis (MT), São Luís (MA), Viçosa (MG) e Vitória (ES). Nestes municípios a pesquisa foi conduzida pelas seguintes Instituições de Ensino Superior; Universidade Federal de Sergipe (UFS), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal do Tocantins (UFT), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

4. 3. População do Estudo

Este estudo é uma extensão do projeto intitulado “Estado nutricional de iodo, sódio e potássio no grupo materno-infantil brasileiro: um estudo multicêntrico”, no qual, incluiu-se gestantes em diferentes idades gestacionais (primeiro, segundo e

terceiro trimestre) e nutrizes entre 15 e 90 dias após o parto que estivessem oferecendo somente leite materno aos seus respectivos lactentes.

4. 4. Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram consideradas elegíveis as gestantes e nutrizes residentes nas zonas urbanas de cada município estudado e usuárias das Unidades Básicas de Saúde. Não foram incluídas no estudo mulheres com histórico de doença e/ou cirurgia na tireoide, diagnóstico referido de hipotireoidismo, hipertensão prévia ou síndrome hipertensiva da gravidez.

4. 5. Cálculo Amostral e Amostragem

Inicialmente foi desenvolvido um plano de amostragem estratificada com sorteio em dois estágios, pois os centros estudados apresentam população com variância entre si quanto aos eventos de interesse (BATTISTI, 2008).

Primeiramente, considerou-se a Unidade Básica de Saúde (UBS) como organização da distribuição territorial da população a ser examinada. Assim, a UBS compôs a unidade amostral primária. Enquanto, as gestantes e nutrizes cadastradas nas Unidades Básicas de Saúde compuseram a unidade amostral secundária, bem como a unidade de análise do estudo.

Para o sorteio no primeiro estágio foram levantados os números de Unidades Básicas de Saúde, de acordo com os dados da Sala de Apoio à Gestão Estratégica do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017a). Já os números de gestantes e nutrizes foram obtidos por meio do Sistema de Informação em Saúde para a Atenção Básica (SISAB) utilizando o ano de 2017 como referência, em cada UBS (BRASIL, 2017b). Estes números fizeram parte de uma lista total de gestantes e nutrizes ordenadas por UBS segundo a ordem de proximidade geográfica.

Após a organização territorial das Unidades Básicas de Saúde para cada município, estimou-se em cada UBS a média de gestantes e nutrizes atendidas semanalmente.

Considerando os municípios com menor estimativa mensal de gestantes e nutrizes (Viçosa – MG e Pinhais – PR) e a meta de levantamento de dados diária factível para o estudo, estabeleceu-se um conglomerado com 20 gestantes e nutrizes em cada UBS para compor a amostra. A partir da razão entre a média

mensal de gestantes/nutrizes atendidas na UBS e o tamanho do conglomerado definido, estimou-se o número de conglomerados em cada UBS, bem como no município. As Unidades Básicas de Saúde com maior número de acompanhamentos das gestantes/nutrizes apresentaram maior número de conglomerados, respeitando-se assim o peso de cada UBS no universo, bem como a proporcionalidade na probabilidade de sorteio.

O número total de conglomerados foi disposto de maneira acumulativa obedecendo-se a lógica organizacional das unidades no território para realização do sorteio aleatório. Em cada município foram sorteados 15 conglomerados, sendo 13 para a obtenção da amostra e dois para possíveis substituições, estabelecendo-se, assim, o número de Unidades Básicas de Saúde (primeiro estágio) selecionadas no universo de Unidades Básicas de Saúde de cada cidade, conforme apresentado no quadro 1.

Para os municípios de Pinhais – PR e Viçosa – MG foram selecionadas para a pesquisa todas as 11 e 14 Unidades Básicas de Saúde, respectivamente, por contemplarem a população do estudo.

Quadro 1 - Determinação do número de Unidades Básicas de Saúde a serem sorteadas em cada cidade para compor a amostra de gestantes e nutrizes.

Cidade/Região	Número de UBS a serem sorteadas	Amostra de gestantes	Amostra de nutrizes
Brasília/Centro-Oeste	12	266	266
Rondonópolis/Centro-Oeste	15	266	266
Aracaju/Nordeste	11	266	266
São Luís/Nordeste	12	266	266
Palmas/Norte	13	266	266
Macaé/Sudeste	9	266	266
Ribeirão Preto/Sudeste	9	266	266
Viçosa/Sudeste	14	266	266
Vitória/Sudeste	13	266	266
Pinhais/Sul	11	266	266

Para iniciar as visitas e coleta de dados, em cada UBS, foi obtida a lista de gestantes e nutrizes acompanhadas mensalmente durante o período de realização da pesquisa. A partir desta lista foi realizado o sorteio das gestantes e nutrizes que compuseram as quotas amostrais de cada UBS (segundo estágio), respeitando os quantitativos previamente estabelecidos.

4. 6. Análise Química

A análise para determinação de iodo na água de consumo foi realizada no laboratório de pesquisa de Química e Análise de Alimentos, do Departamento de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Viçosa.

4. 6. 1. Reagentes e soluções

Todos os reagentes e soluções utilizadas na análise de determinação da concentração de iodo na água estão dispostas no Apêndice A.

Todos os reagentes utilizados foram da marca Sigma Aldrich®, de elevada pureza analítica.

As soluções estoques de iodeto e as soluções reagentes foram preparadas com água ultrapura (livre de iodo). A água ultrapura foi obtida por sistema de purificação de água, Milli-Q®185 e a resistividade específica desta água deveria ser de 18MΩ/cm, a 25°C.

4. 6. 2. Determinação da concentração de iodo na água de abastecimento e de consumo

4. 6. 2. 1. Coleta das amostras de água nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e nos poços

As amostras da água distribuída para abastecimento da população foram coletadas nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e nos poços de água subterrânea do município de Viçosa, Minas Gerais.

As coletas das amostras de água ocorreram em 2021 na estação verão (março) e outono (maio). Optou-se pelas coletas em duas estações do ano distintas, pois no local do estudo a estação verão é caracterizada por temperaturas elevadas e aumento dos índices pluviométricos, enquanto o outono apresenta diminuição gradativa das temperaturas e do regime de chuvas.

Nas ETA e nos poços ocorreu a coleta das amostras antes (água bruta) e após o tratamento da água (água tratada) e as amostras foram coletadas em frascos coletores perfazendo um volume total de 300 mL.

A coleta das amostras seguiu o protocolo do “Manual prático de análise de água” (BRASIL, 2013). As amostras foram transportadas em caixa térmica e levadas para análise no laboratório.

4. 6. 2. 2. Coleta das amostras de água de consumo nas Unidades Básicas de Saúde

As amostras de água foram coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS), dos nove municípios e do Distrito Federal, em dois frascos de polietileno de 200 mL cada. Foram coletadas amostras de água em cada estação climática do ano (verão, outono, inverno e primavera) (Quadro 2).

Quadro 2 - Determinação do número de Unidades Básicas de Saúde sorteadas para compor o número de amostras de água de consumo em cada local.

Local/Região	Número de UBS sorteadas	Número de amostras de água de consumo coletadas
Brasília/Centro-Oeste	12	12
Rondonópolis/Centro-Oeste	15	15
Aracaju/Nordeste	11	11
São Luís/Nordeste	12	12
Palmas/Norte	13	13
Macaé/Sudeste	9	9
Ribeirão Preto/Sudeste	9	9
Viçosa/Sudeste	14	14
Vitória/Sudeste	13	13
Pinhais/Sul	11	11

Após a coleta, as amostras foram levadas para os centros de pesquisa de cada local e mantidas congeladas (-18°C), até a data de envio ao laboratório responsável pelas análises.

As amostras foram transportadas congeladas e em caixas térmicas; e após a recepção no laboratório, foram mantidas à temperatura de 4°C até o momento da análise.

4. 6. 2. 3. Curva analítica

Inicialmente foi preparada a curva analítica com solução de uso para fornecer as concentrações de iodo de: 0,0125 mg·L⁻¹; 0,0250 mg·L⁻¹; 0,0375 mg·L⁻¹; 0,0500 mg·L⁻¹; 0,0625 mg·L⁻¹; 0,0750 mg·L⁻¹; 0,0875 mg·L⁻¹; 0,1000 mg·L⁻¹; 0,1125 mg·L⁻¹ e 0,1250 mg·L⁻¹. Para isso inicialmente pesou-se 1,3081 g de KI (iodeto de potássio) para o preparo da solução estoque de iodo de 1 mg·L⁻¹ e a seguir transferiu-se 5 mL desta solução para um balão volumétrico de 500 mL, completando o volume com água ultrapura para obter a solução de uso contendo 10 mg l/mL. A partir desta solução de uso foram pipetadas alíquotas de 250 µL a 2500 µL em balões volumétricos de 100 mL, completando-se o volume com água ultrapura. Em seguida, transferiu-se 50 mL de cada balão volumétrico, nas concentrações mencionadas acima, para balões volumétricos de 100 mL. Nestes balões, além da solução de uso (ou solução padrão), adicionou-se 1,0 mL de solução tampão cítrica e 0,5 mL de peroximonossulfato de potássio, agitando-se por aproximadamente um minuto. Depois adicionou-se 1,0 mL do indicador “leuco cristal violeta” e completou-se o volume com água ultrapura.

As leituras de absorvâncias foram realizadas a 592 nm, em espectrofotômetro ultravioleta – visível (modelo *UV/VIS 9200*, marca *Rayleigh*), utilizando-se cubeta de plástico de 10 mm de percurso óptico, à temperatura ambiente; como branco foi utilizada a água ultrapura com concentração de 0 mg·L⁻¹ de iodo. A leitura do branco foi realizada nas mesmas condições da solução padrão. A partir das leituras plotou-se os valores de absorvância versus concentração de iodo, para construir a curva analítica, com 11 níveis de concentração, sendo cada ponto representado pela média de duas determinações (análise em duplicata). A construção desta curva garantiu a validação do método “leuco cristal violeta”, para a determinação da concentração de iodo, demonstrando que o mesmo, nas condições em que é praticado, apresenta as características necessárias para a obtenção de resultados de boa qualidade.

4. 6. 2. 4. Quantificação de iodo na água de abastecimento e de consumo

A metodologia para a quantificação da concentração de iodo na água foi executada de acordo com o descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 4500-I B, método espectrofotométrico “leuco cristal violeta” (S.M.E.W.W, 2005). Este método determina o iodo aquoso, sob a forma de iodo elementar e ácido hipoiódico (S.M.E.W.W, 2005).

Para análise das amostras de água, mediu-se 50 mL em uma proveta e em seguida transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL. Neste balão adicionou-se 1 mL de solução tampão cítrica e 0,5 mL de peroximonossulfato de potássio, agitando-se por aproximadamente um minuto. Em seguida, adicionou-se 1 mL do indicador “leuco cristal violeta” e completou-se o volume com água ultrapura. Esta análise foi realizada em triplicata e, para obtenção de melhores resultados, as leituras das absorbâncias foram realizadas dentro de cinco minutos após a adição do indicador “leuco cristal violeta”. As leituras das absorbâncias foram realizadas nas mesmas condições da solução padrão e a partir da curva analítica os resultados foram expressos em $\mu\text{g de Iodo}\cdot\text{L}^{-1}$.

4. 7. Classificação da concentração de iodo na água de abastecimento e de consumo

A legislação chinesa foi adotada como referência para avaliar a concentração de iodo na água de abastecimento e de consumo, sendo adotados os pontos de corte: $<10 \mu\text{g/L}$ (água com baixa concentração de iodo); $10 - 150 \mu\text{g/L}$ (água com concentração adequada de iodo); $> 150 \mu\text{g/L}$ (água com alta concentração de iodo) e $> 300 \mu\text{g/L}$ (água com excesso de iodo) (MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2003; MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2009).

4. 8. Cálculo da contribuição da água de consumo na ingestão do micronutriente

A partir das concentrações mínima e máxima de iodo encontrada na água de consumo dos diferentes locais calculou-se a ingestão do micronutriente em μg para os grupos fisiológicos de crianças, adolescentes, adultos/idosos, gestantes e nutrizes. Para isso, levou-se em consideração a ingestão hídrica recomendada para cada grupo com base na recomendação do Instituto de Medicina dos Estados

Unidos (IOM, 2004), sendo estabelecida a ingestão hídrica para indivíduos de 1 a 3 anos de 1 litro e 300 mL; de 4 a 8 anos de 1 litro e 700 mL; de 9 a 13 anos de 2 litros e 100 mL; de 14 a 18 anos de 2 litros e 300 mL; de 19 a maiores de 70 anos de 2 litros e 700 mL; gestantes de 3 litros e nutrízes de 3 litros e 800 mL (IOM, 2004).

Nesta avaliação da ingestão do micronutriente a partir da água de consumo foram considerados os indivíduos do sexo feminino como forma de contemplar as gestantes e nutrízes, considerados grupos vulneráveis à deficiência de iodo.

Para calcular o percentual de iodo presente nas amostras de água de consumo dos diferentes locais e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente para os diferentes grupos fisiológicos, utilizou-se como referência a Necessidade Média Estimada (EAR) de iodo recomendada pelo Instituto de Medicina (2001).

4. 9. Análise Estatística

A análise dos dados foi realizada nos programas estatísticos *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 21.0 e *Statistical Analysis Systems (SAS)* versão 9.2. Realizou-se análise estatística descritiva dos dados e estes foram expressos em frequências absolutas e relativas. Utilizou-se a mediana, acompanhada dos valores mínimo e máximo para descrever a concentração de iodo na água de consumo.

Para verificar se houve diferença na concentração de iodo na água de consumo, entre as estações climáticas de uma mesma localidade e entre as mesmas estações, em locais diferentes, aplicou-se os testes de Mann-Whitney ou Kruskal-Wallis, conforme normalidade dos dados, e considerou-se significância estatística de $\alpha = 5\%$.

4. 10. Financiamento

Esse estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos 408295/2017-1 e 439075/2018-1 e, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) processo APQ-03336-18.

4. 11. Aspectos Éticos

O presente estudo seguiu as normas da Resolução nº466 de 12 de dezembro de 2012 do Conselho Nacional de Saúde. Como esse estudo faz de um projeto maior intitulado “Estado nutricional de iodo, sódio e potássio no grupo materno-infantil brasileiro: um estudo multicêntrico”, este já aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Viçosa com número de parecer 2.496.986 (ANEXO A).

Todos os resultados obtidos com esta pesquisa foram apresentados para o Ministério da Saúde (MS) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) na forma de relatório. Estes resultados também foram encaminhados para os centros de pesquisa contemplados com o estudo.

Referências

BATTISTI, I. D. E. **Análise de dados epidemiológicos incorporando planos amostrais complexos**. 2008. Tese (Doutorado em Epidemiologia) - Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sala de Apoio à Gestão Estratégica do Ministério da Saúde. Disponível em: <http://www.sage.saude.gov.br/#>. Acesso em: 03 ago. 2017a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Acompanhamento do Programa de Humanização no Pré-Natal e Nascimento – SispreNatal. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br/SISPRENATAL/index.php>. Acesso em: 03 ago. de 2017b.

INSTITUTE OF MEDICINE – IOM. **Dietary reference intakes for water, potassium, sodium chloride, and sulfate**. National Academy Press, 2004. 617p.

INSTITUTE OF MEDICINE – IOM. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, copper, iodine, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc**. National Academy Press, 2001. 769p.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. **Determination and classification of the areas of high water iodine and the endemic areas of iodine excess goiter.** National Standard of the People's Republic of China. Standardization Administration of China. 2003.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. **Delimitation for the endemic areas of iodine deficiency disorders.** Standardization Administration of China. 2009.

STANDARD METHODS OF THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 2005. APHA, AWWA, WPCF. 21st edition; 2005. Disponível em: https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf. Acesso em: 03 jun. 2019.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5. 1. Artigos de Revisão Sistemática

5. 1. 1. Fatores ambientais relacionados ao estado nutricional de iodo: revisão sistemática

Autores: Carina Aparecida Pinto, Dayane de Castro Morais, Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patricia Crispim, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro, Sylvia do Carmo Castro Franceschini, Silvia Eloiza Priore.

Resumo: Objetivo: Analisar os fatores ambientais relacionados ao estado nutricional de iodo. Metodologia: Revisão segundo o método PRISMA. Foram consultadas as bases de dados PubMed, LILACS e Scopus, bem como o Portal de Periódicos da Capes, utilizando-se os “descritores deficiência de iodo”, “estado nutricional” e “meio ambiente” de forma combinada, com os seus correspondentes em espanhol e inglês. Resultados: Foram incluídos oito estudos, destes quatro avaliaram a concentração de iodo na água para consumo em diferentes fontes, três a região geográfica e um a concentração de iodo na água potável e no solo. Observou-se relação entre o consumo de água com alta concentração de iodo e alteração no estado nutricional do micronutriente, com maior excreção de iodo urinário e alterações no volume e nos hormônios da tireoide. Tanto a baixa concentração quanto o excesso de iodo na água para consumo relacionaram-se com a inadequação no estado nutricional do micronutriente decorrente da maior prevalência de bócio em crianças e adolescentes. Em relação à localização, adultos residentes em regiões costeiras apresentaram alteração no estado nutricional de iodo com maior excreção urinária do mesmo e maior prevalência de doença autoimune da tireoide. Já, os indivíduos residentes em regiões costeiras com alta concentração de algas marinhas, apresentaram menor prevalência de deficiência de iodo. Os solos com maior concentração de iodo relacionaram-se com a menor prevalência de bócio em crianças e adolescentes. Conclusão: Os fatores ambientais, como concentração de iodo na água, no solo e região geográfica, estão relacionados ao estado nutricional do micronutriente, em diferentes populações, devendo ser considerados nos estudos sobre esta temática.

Palavras-chave: iodo, meio ambiente, estado nutricional, saúde.

Introdução

O iodo é um micronutriente essencial ao organismo humano e parte constituinte dos hormônios tireoidianos triiodotironina (T3) e tiroxina (T4) que desempenham papel fundamental no desenvolvimento fetal, na regulação metabólica das células e no crescimento físico e neurológico. A deficiência de iodo pode causar uma série de efeitos adversos à saúde denominados de Distúrbios por Deficiência de Iodo (DDI), englobando manifestações clínicas e funcionais que variam de leve a muito grave (LEE; ANANTHAKRISHNAN; PEARCE, 2006; WHO, 2007).

A deficiência de iodo é considerada um dos principais problemas de saúde pública no mundo, em especial nos países em desenvolvimento, afetando bilhões de indivíduos (BENOIST *et al.*, 2004). As prevalências variam conforme o público investigado, apresentando maiores percentuais nos grupos vulneráveis, como gestantes, nutrizes e lactentes (CANDIDO *et al.*, 2019a; AZEVEDO *et al.*, 2020).

A deficiência de iodo pode causar cretinismo no feto, caracterizado como retardo mental grave e irreversível; anomalias congênitas; e bócio, que é a manifestação mais visível de alteração no estado nutricional de iodo. Além disso, a má nutrição de iodo está relacionada a taxas elevadas de natimortos, baixo peso ao nascer, complicações no período gestacional, aumento do risco de abortos e mortalidade materna. Tendo em vista essas consequências, as gestantes, nutrizes e crianças são os grupos considerados vulneráveis aos DDI (BRASIL, 2007; WHO, 2007).

A carência nutricional de iodo, causada pela baixa ingestão alimentar de fontes dietéticas naturais desse mineral, ocorre principalmente em função de sua distribuição no meio ambiente, uma vez que 70% do iodo no nosso planeta encontra-se localizado nos sedimentos marinhos, tornando o mar o maior reservatório deste micronutriente (CORTECCI, 2010). Assim, regiões distantes do mar, nas quais o solo passou por processos repetidos de lixiviação por águas de chuva e enchentes são naturalmente deficientes em iodo (BRASIL, 2007). As populações que vivem em regiões deficientes em iodo apresentam maior risco de apresentar os DDI, cujo impacto sobre os níveis humano, social e econômico são muito graves (BENOIST *et al.*, 2004; BRASIL, 2007).

Esta distribuição desigual do iodo na natureza faz com que sua concentração seja diferente entre as regiões, e influenciada por fatores ambientais como distância do mar, tipos de solos e local de obtenção da água para consumo humano (JOHNSON, 2003; FUGE; JOHNSON, 2015). Dessa maneira, os solos que se encontram próximos do mar apresentam maior concentração de iodo em relação aos que estão afastados deste local. Em relação à água para consumo, observa-se maior concentração de iodo naquelas obtidas de fontes subterrâneas em comparação àquelas de fontes superficiais (JOHNSON, 2003; FUGE; JOHNSON, 2015).

Para avaliar o estado nutricional de iodo, a Organização Mundial de Saúde (OMS) preconiza a utilização de indicadores como iodo urinário, volume tireoidiano e componentes do sangue (hormônio estimulante da tireoide - TSH, tiroglobulina - Tg, triiodotironina - T3, tiroxina - T4 e tiroxina livre - FT4). A escolha destes indicadores deve considerar o objetivo do estudo, população investigada e disponibilidade de recursos financeiros para sua aplicação (BENOIST *et al.*, 2004; CANDIDO *et al.*, 2019b).

Diante do exposto, objetivou-se nesta revisão sistemática analisar os fatores ambientais relacionados ao estado nutricional de iodo.

Metodologia

Incluiu-se nesta revisão sistemática artigos originais, de diferentes países, sem imposição de limites quanto ao ano de publicação. Não foram considerados elegíveis artigos de revisão, dissertações, teses, capítulos de livros e publicações governamentais. Para a pesquisa dos documentos utilizou-se as bases de dados PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/advanced>), LILACS - Literatura Latino Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>) e Scopus (https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/15534/supporthub/scopus/#tips), bem como o Portal de Periódicos CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>). Visando incluir artigos não identificados nas bases de dados e Portal de Periódicos realizou-se busca reversa nas referências dos artigos selecionados após leitura na íntegra. A etapa de busca dos artigos ocorreu de abril a maio de 2020. Em fevereiro de 2022, foi realizada nova busca nas bases de dados citadas acima utilizando os

mesmos descritores. Nenhum artigo foi adicionado após a busca por não atender aos critérios de inclusão.

Os termos de busca utilizados foram os descritores: deficiência de iodo, estado nutricional e meio ambiente e suas respectivas traduções em inglês e espanhol. Estes foram definidos considerando os descritores de saúde mais utilizados na abordagem dessa temática. A pergunta norteadora desta revisão foi “Quais fatores ambientais estão relacionados ao estado nutricional de iodo”?

A estratégia de busca foi revisada por dois pesquisadores (C.A.P e D.C.M), um deles com experiência em revisões sistemáticas, segundo critérios da *Peer Review of Electronic Search Strategies - PRESS check list* (McGOWMAN *et al.*, 2016).

O protocolo de identificação e seleção dos artigos baseou-se na leitura do título seguida do resumo e do manuscrito na íntegra. Identificou-se inicialmente 342 documentos utilizando os termos de busca. Após a leitura dos títulos e resumos, 332 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão ou serem repetidos. Dos dez artigos identificados, quatro foram excluídos após a leitura integral por não contemplarem os critérios de inclusão. Com a busca reversa, incluiu-se duas novas publicações. Ao final oito artigos foram incluídos nesta revisão (Figura 1).

Para a construção desta revisão sistemática seguiu-se as recomendações do *PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis)* (MOHER *et al.*, 2009), com definição de pergunta norteadora da revisão e das bases de pesquisa dos artigos, critérios de inclusão e de exclusão, utilização de protocolo de pesquisa. A avaliação do risco de viés dos artigos incluídos neste manuscrito se deu pelo instrumento específico para estudos transversais que contempla oito questões relativas à qualidade metodológica dos mesmos (THE JOANNA BRIGGS INSTITUTE, 2017).

Esta revisão foi registrada na base de registro de protocolos de revisões sistemáticas PROSPERO sob o nº CRD42020207423.

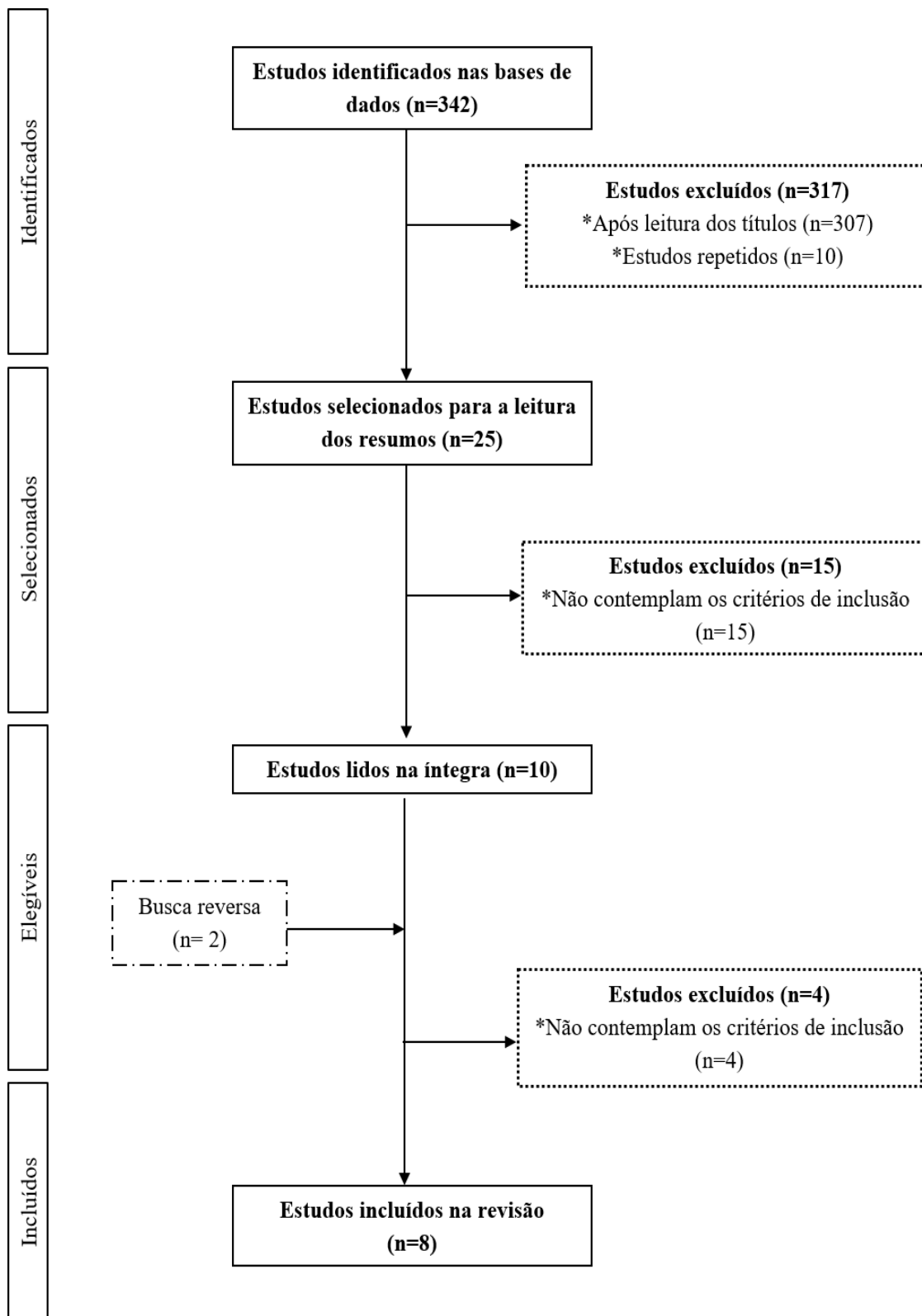


Figura 1 - Etapas da elaboração da revisão sistemática.

Resultados

Foram incluídos oito estudos (LI *et al.*, 1987; EL-SAYED *et al.*, 1998; SHEN *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2012; SMYTH *et al.*, 2016; LU *et al.*, 2017; OETTINGEN *et al.*, 2017; GIASSA *et al.*, 2018) nesta revisão sistemática, sendo os mesmos publicados entre os anos de 1987 e 2018. Estes foram conduzidos principalmente no continente Asiático (LI *et al.*, 1987; SHEN *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2012; LU *et al.*, 2017) e Europeu (SMYTH *et al.*, 2016; GIASSA *et al.*, 2018), tendo a maioria como população investigada crianças e adolescentes (LI *et al.*, 1987; EL-SAYED *et al.*, 1998; SHEN *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2012; SMYTH *et al.*, 2016; LU *et al.*, 2017; OETTINGEN *et al.*, 2017) (Quadro 1).

Em relação aos fatores ambientais, o iodo foi avaliado na água para consumo (LI *et al.*, 1987; EL-SAYED *et al.*, 1998; SHEN *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2012; LU *et al.*, 2017), solo (EL-SAYED *et al.*, 1998) e região geográfica (SMYTH *et al.*, 2016; OETTINGEN *et al.*, 2017; GIASSA *et al.*, 2018) (Quadro 1).

Os indicadores utilizados para avaliar o estado nutricional de iodo foram iodo urinário (LI *et al.*, 1987; EL-SAYED *et al.*, 1998; SHEN *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2012; SMYTH *et al.*, 2016, LU *et al.*, 2017; OETTINGEN *et al.*, 2017; GIASSA *et al.*, 2018), volume tireoidiano (LI *et al.*, 1987; EL-SAYED *et al.*, 1998; SHEN *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2012, LU *et al.*, 2017) e componentes sanguíneos, como TSH, T3, T4 e FT4 (LI *et al.*, 1987; OETTINGEN *et al.*, 2017; GIASSA *et al.*, 2018). Ressalta-se que alguns estudos utilizaram a combinação de indicadores na análise do estado nutricional de iodo (LI *et al.*, 1987; EL-SAYED *et al.*, 1998; SHEN *et al.*, 2011; GIASSA *et al.*, 2018). O estudo de Oettingen *et al.* (2017) avaliou além do volume tireoidiano e dosagem de TSH, o estado nutricional de crianças pelos índices Peso por Idade (P/I) e Estatura por Idade (E/I) e pelo perímetro do braço (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Autores/ Ano	Objetivo Geral	Amostra	Metodologia
Li et al., 1987	Examinar a glândula tireoide de indivíduos que residem em dois vilarejos com diferentes concentrações de iodo na água potável	171 indivíduos de 7 a 15 anos da China	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na água: escolha de dois vilarejos com concentração de iodo na água de 54 µg/L e 462,5 µg/L, previamente conhecidas - Estado nutricional de iodo: avaliado pela concentração de iodo urinário, medido com auto analisador Technicon II, segundo metodologia de Garry et al. (1973) - Avaliação da glândula tireoide: volume da glândula tireoide determinado pela técnica de ultrassonografia e classificação do bócio segundo Tilly et al. (1980); dosagem sérica de triiodotironina (T3), tiroxina (T4) e tiroxina livre (FT4) por kits comerciais de radioimunoensaio (Baxter Travenol Diagnostics, Cambridge, MA) e dosagem sérica de hormônio estimulante da tireoide (TSH) por ensaio imunoradiométrico sensível (Sucrosep TSH IRMA; Boots-Celltech Diagnostics UK)
El-Sayed et al., 1998	Estudar a prevalência dos Distúrbios por Deficiência de iodo e alguns fatores de risco	6.750 indivíduos de 8 a 10 anos no alto do Egito	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na água: amostras de água potável, segundo metodologia de Moxon e Dixon (1980) - Análise da concentração de iodo no solo: segundo metodologia de Moxon e Dixon (1980) - Estado nutricional de iodo: avaliado pela Concentração de Iodo Urinário, segundo metodologia de Moxon e Dixon (1980) - Avaliação da glândula tireoide: exame físico da glândula por técnica de inspeção e palpação, segundo <i>World Health Organization - WHO</i> (1994)
Shen et al., 2011	Determinar a relação entre a alta concentração de iodo na água potável e a prevalência de bócio	56.751 indivíduos de 8 a 10 anos da China	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na água: amostras de água potável (poço e de gasoduto), utilizando o método espectrofotométrico catalítico As-Ce - Estado nutricional de iodo: avaliado pela Mediana de Iodo Urinário, segundo metodologia de Yan et al. (2006) - Avaliação da glândula tireoide: exame físico da glândula tireoide

			por técnica de inspeção e volume da glândula tireoide determinado pela técnica de ultrassonografia, segundo metodologia de Liu et al. (2007) e WHO (2007)
Lv. et al., 2012	Identificar o estado nutricional de iodo e a prevalência de bócio em indivíduos que residem em áreas com alta concentração de iodo na água potável	1.259 indivíduos de 8 a 10 anos da China	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na água: amostras de água potável (poço e torneira) coletadas nos domicílios, segundo metodologia do <i>Ministry of Health of China</i> (2006) - Avaliação da glândula tireoide: volume da glândula determinado pela técnica de ultrassonografia, segundo metodologia de Brunn et al. (1981) e Lui et al. (2007) - Estado nutricional de iodo: avaliado pela Concentração de Iodo Urinário, segundo WHO (1994)
Smyth et al., 2016	Investigar o iodo urinário em populações que residem em região costeira e de interior	Indivíduos menores de 15 anos e adultos do sexo feminino com idade superior a 18 anos da Irlanda no período de 1988-2009	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na região geográfica: região costeira com e sem abundância de algas marinhas e interior do país - Estado nutricional de iodo: avaliado pela dosagem de iodo urinário (IU), conforme descrito por Ohashi et al. (2000), e classificação da WHO (2007)
Lu et al., 2017	Avaliar a prevalência de bócio e o estado nutricional de iodo em áreas com elevadas concentrações de iodo na água	25.671 indivíduos de 8 a 10 anos de 110 municípios da China no período de 2012 a 2014	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na água: amostras coletadas em vilarejos com e sem abastecimento central, segundo metodologia de Wang et al. (2007) - Estado nutricional de iodo: avaliado pela Concentração de Iodo Urinário, segundo metodologia de Yan et al. (2006), e classificação da WHO (2007) - Avaliação da glândula tireoide: volume da glândula determinado pela técnica de ultrassonografia, segundo metodologia de Lui et al. (2007)
Oettingen et al., 2017	Determinar a prevalência de deficiência de iodo em crianças haitianas e sua in-	299 crianças de 9 meses a 6 anos do Haiti	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na região geográfica: região costeira, urbana e montanhosa - Estado nutricional de iodo: avaliado pela dosagem de iodo urinário, segundo metodologia de Valentin-Lasimi et al. (2005)

	fluência por fatores ambientais		<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação da glândula tireoide: por dosagem do hormônio estimulante da tireoide (TSH) (<i>Calbiotech, Spring Valley, CA</i>); e exame físico da glândula por técnica de inspeção e palpação, segundo WHO (2007) - Avaliação do estado nutricional: pelas medidas de peso, comprimento ou estatura e perímetro do braço, de acordo com os valores de z escores por idade e sexo, segundo <i>Centers for Disease Control – CDC</i> (2000)
Giassa et al., 2018	Avaliar a relação entre ingestão de iodo e tireoidite autoimune em região costeira e continental	522 indivíduos adultos da Grécia	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da concentração de iodo na região geográfica: região costeira e continental - Estado nutricional de iodo: avaliado pela Concentração de Iodo Urinário, segundo metodologia de Dunn et al. (1993) - Avaliação da glândula tireoide: por dosagem de TSH sérico; diagnóstico de tireoidite autoimune pela dosagem dos anticorpos contra a peroxidase da tireoide (anti-TPO) e tireoglobulina (anti-Tg) (<i>E170 Module for Modular Analytics; Roche diagnostics GmbH, Mannheim, Germany</i>); e por ultrassonografia da tireoide para avaliar a textura do parênquima tireoidiano, segundo Gutekunst et al. (1989) e Dunn et al. (1993)

Os estudos que avaliaram o iodo na água encontraram relação entre a alta concentração deste (462,5 µg/L) e maior concentração de iodo urinário refletindo alteração no estado nutricional do micronutriente com mudanças nos valores dos componentes sanguíneos (FT4, TSH e T3) e no aumento do volume da glândula tireoide (LI *et al.*, 1987); água com excesso de iodo (> 300 µg/L) e maior excreção urinária deste micronutriente, com maior prevalência de bócio em crianças e adolescentes (SHEN *et al.*, 2011), enquanto, a baixa concentração de iodo na água (< 0,5 µg/100 mL) implicou em alta prevalência de bócio em crianças e adolescentes (EL-SAYED *et al.*, 1998) (Figura 2).

Considerando o solo, verificou-se relação entre o solo com baixa concentração de iodo e alta prevalência de bócio em crianças e adolescentes (EL-SAYED *et al.*, 1998). Já em relação à região geográfica, indivíduos residentes em região costeira com alta concentração de algas marinhas apresentaram maior excreção urinária de iodo e menor prevalência de deficiência deste mineral em menores de 15 anos e mulheres (SMYTH *et al.*, 2016); indivíduos residentes em região costeira apresentaram maior concentração de iodo urinário e maior prevalência de tireoidite autoimune em adultos (GIASSA *et al.*, 2018); enquanto, aqueles que residiam em região montanhosa apresentaram menor concentração de iodeto urinário e alteração no estado nutricional de iodo com maior probabilidade de desnutrição em crianças (OETTINGEN *et al.*, 2017) (Figura 3).

Ao avaliar o risco de viés dos artigos incluídos nesta revisão, verificou-se que todos definiram os critérios de inclusão da amostra, avaliaram a exposição e os resultados de forma válida e confiável, utilizaram critérios objetivos e padronizados para a medição da condição e estatística apropriada. Apenas um dos estudos não descreveu detalhadamente os sujeitos incluídos (SMYTH *et al.*, 2016) e somente um deles identificou e estabeleceu estratégias para controle de fatores de confusão (EL-SAYED *et al.*, 1998).

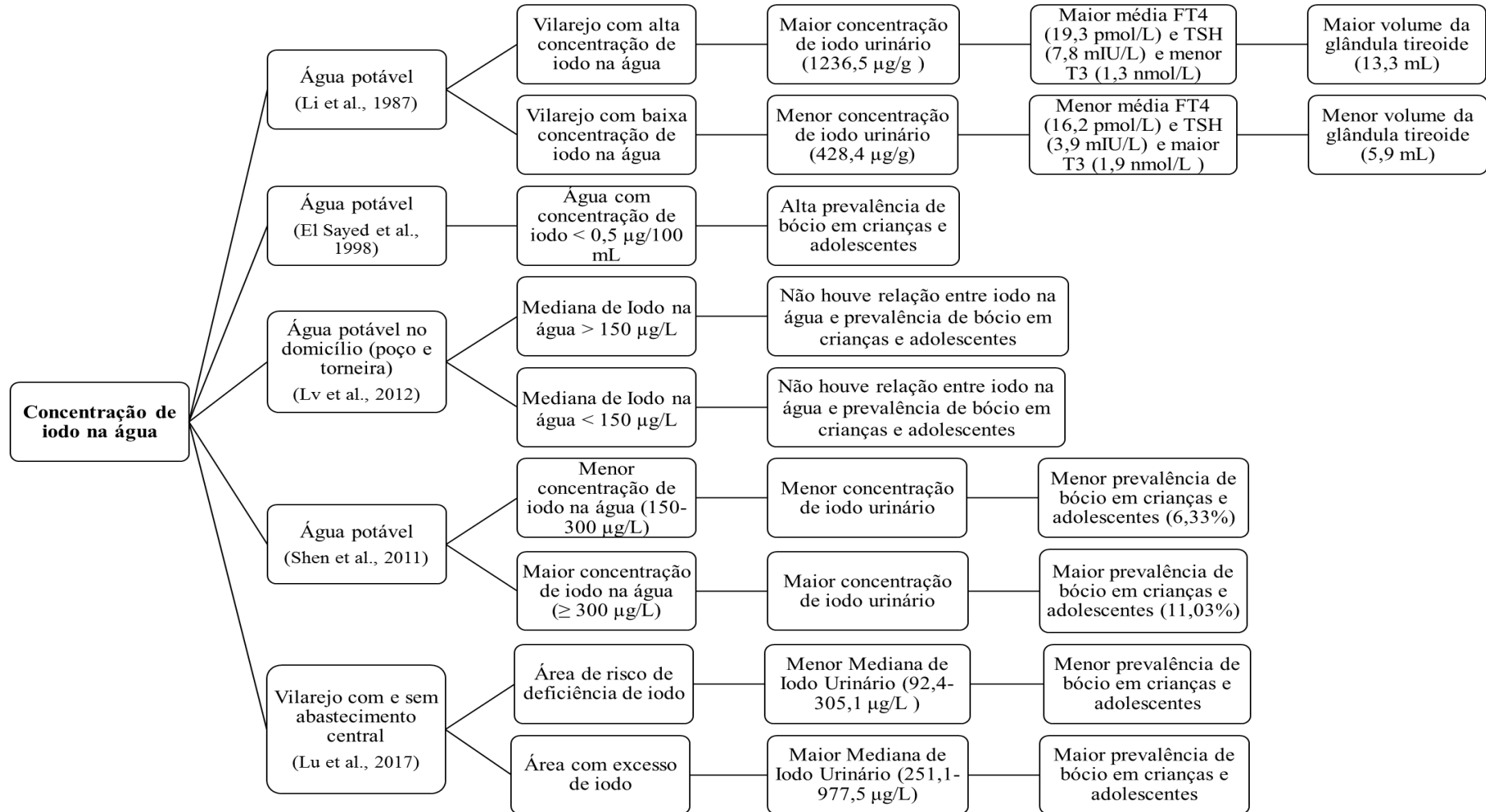


Figura 2 - Concentração de iodo na água e sua relação com o estado nutricional deste mineral.

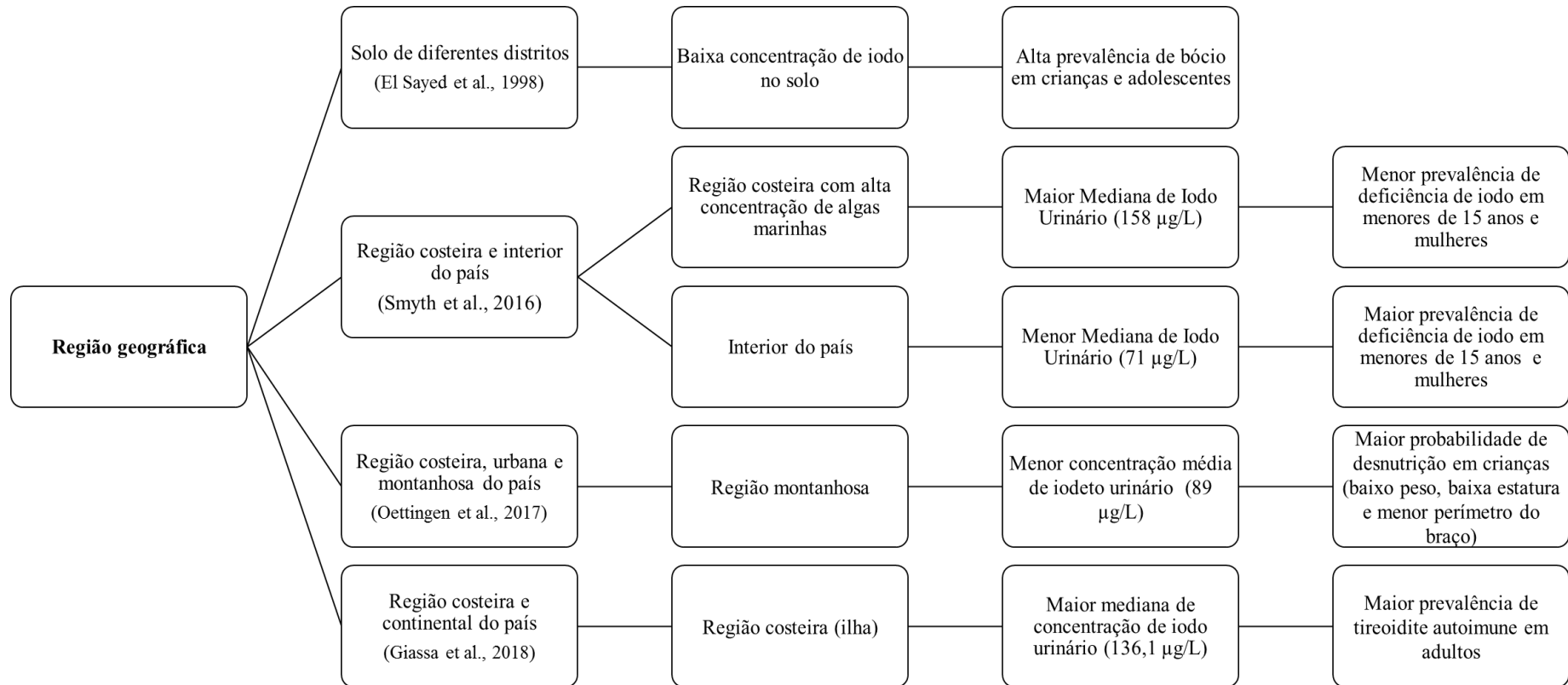


Figure 3 - Região da população investigada e sua relação com o estado nutricional de iodo.

Discussão

O público avaliado nos artigos foi dos continentes Asiático, Europeu, Americano e Africano, em países específicos que não necessariamente representam as especificidades de cada região geográfica. Como a disponibilidade de iodo para consumo, seja na água ou em alimentos, sofre influências ambientais principalmente relacionadas à região geográfica, solo e água, os estudos devem abranger diferentes áreas geográficas do mundo como forma de contemplar as suas particularidades.

O iodo foi avaliado na água, no solo e em diferentes regiões geográficas. Ressalta-se a importância de avaliar diferentes fontes de água, considerando a potabilidade e profundidade de poços e reservas. Dados da literatura para águas superficiais demonstram que elas geralmente contêm menor concentração de iodo ($< 20 \mu\text{g/L}$) quando comparadas às águas subterrâneas (JOHNSON, 2003; FUGE; JOHNSON, 2015). A concentração de iodo nas águas superficiais é influenciada por diversos fatores, como a proximidade com o mar, uma vez que a concentração do mineral nas águas dos rios e lagos próximos ao mar é maior em relação as mais afastadas das regiões costeiras (FUGE; JOHNSON, 2015). Este fato deve-se ao mar e aos seus sedimentos, principalmente aqueles com abundância de algas marinhas, constituírem o maior reservatório de iodo do planeta (CORTECCI, 2010; SMYTH *et al.*, 2016).

As águas subterrâneas, ricas em iodo, são usadas como fonte de água potável em diversas localidades, como em várias províncias da China (SHEN *et al.*, 2011; FUGE; JOHNSON, 2015). Pesquisas conduzidas no Sri Lanka, China e Marrocos evidenciaram que a concentração de iodo na água potável é um fator importante na etiologia dos DDI e demonstraram que regiões com menor prevalência dos DDI apresentavam maiores concentrações de iodo na água potável, principalmente quando esta era de fonte subterrânea (JOHNSON, 2003). Acredita-se que águas subterrâneas apresentem maior concentração do mineral devido ao fenômeno de evapoconcentração, o qual favorece a precipitação de minerais, entre eles o iodo, principalmente em regiões com altas temperaturas (WATTS *et al.*, 2010).

O estudo de El-Sayed *et al.* (1998) confirmou a relação existente entre a baixa concentração de iodo na água potável e DDI, evidenciada pela alta prevalência de bócio em crianças e adolescentes. Já os de Li *et al.* (1987), Shen *et al.* (2011) e Lu *et al.* (2017) verificaram o oposto, uma vez que o consumo de água com alta concentração de iodo relacionou-se com inadequações no estado nutricional do micronutriente como maior volume da glândula tireoide e alterações nos componentes sanguíneos FT4, TSH e T3 (LI *et al.*, 1987), bem como a maior prevalência de bócio em crianças e adolescentes (SHEN *et al.*, 2011; LU *et al.*, 2017).

Em situações de excesso de iodo, o processo adaptativo predispõe o organismo a doenças autoimunes da tireoide e também o bócio, como encontrado nos artigos desta revisão (LI *et al.*, 1987; SHEN *et al.*, 2011; LU *et al.*, 2017; GIASSA *et al.*, 2018). A ingestão excessiva de iodo pode induzir o agravamento da tireoidite autoimune pré-existente, provocando aumento dos anticorpos antiperoxidase e antitireoglobulina, elevando os níveis de TSH sérico, com progressiva falência da glândula tireoide e desenvolvimento do hipotireoidismo clínico (PEARCE *et al.*, 2002; UTIGER, 2006).

Os estudos demonstram que o bócio tem como causa tanto a deficiência quanto o excesso de iodo. Esta dupla causalidade do bócio pode ser explicada pela relação da “curva em U” entre a Concentração de Iodo Urinário e a prevalência de bócio, demonstrando que quando as concentrações de iodo urinário estavam entre 50 a 400 µg/g de creatinina, a prevalência de bócio era menor (YU; HU; ZHU, 1984). Liu *et al.* (2010) testaram e confirmaram a relação da “curva em U” entre o iodo urinário e a prevalência de bócio, mesmo tendo utilizado como eixo do gráfico a concentração de iodo urinário expresso em µg/L. Desse modo, a “curva em U” evidencia que em extremos da concentração urinária de iodo há maior prevalência de bócio, relacionado tanto a deficiência quanto a ingestão excessiva de iodo (LIU *et al.*, 2010). Ressalta-se a importância da construção de uma “curva em U” em cada país considerando os fatores ambientais (concentração de iodo na água, no solo e região geográfica) que interferem no estado nutricional desse mineral e as especificidades das políticas de iodo.

Em relação à região, as montanhosas e do interior apresentaram menor concentração de iodo no solo, ademais nas regiões montanhosas as chuvas

constantes promovem a lixiviação retirando o iodo do solo e tornando o mesmo pobre no mineral (WHO, 2007). Além disso, o tipo de solo interfere na concentração e conseqüente disponibilidade de iodo, uma vez que solos ricos em compostos orgânicos e alcalinos tem volatilização limitada de iodo, tendo pouca transferência desse mineral para os vegetais. Enquanto, solos ricos com compostos inorgânicos e ácidos apresentam maior volatilização de iodo e transferência do solo para os vegetais (JOHNSON, 2003). Outro fator que interfere na concentração de iodo no solo diz respeito à aplicação de fertilizantes que apresentam em sua composição este mineral (LIMA; NAVARRO, 2018). Assim, o consumo de alimentos cultivados em diferentes tipos de solos terá influência na ingestão de iodo pela população (JOHNSON, 2003; FUGE; JOHNSON, 2015).

Em relação à avaliação biológica, o iodo foi dosado pela mediana e concentração urinária, por hormônios e anticorpos, e pelo volume da glândula tireoide por palpação e ultrassom para detectar a presença de bócio. Estes métodos são considerados indicadores do estado nutricional de iodo (BRASIL, 2007; WHO, 2007; CANDIDO *et al.*, 2019b). O volume tireoidiano foi avaliado em dois estudos (EL-SAYED *et al.*, 1998; OETTINGEN *et al.*, 2017) pelo exame físico de palpação, não sendo o mais indicado por apresentar baixa sensibilidade a mudanças agudas de ingestão do mineral e ser observacional, dependendo da experiência de cada avaliador. Ressalta-se que os autores utilizaram diferentes protocolos e pontos de corte que dificultam a comparação dos resultados dos estudos, em função da não padronização dos mesmos.

Dentre os indicadores, os componentes sanguíneos e o volume da glândula tireoide apresentam mecanismo adaptativo para compensar a ingestão insuficiente de iodo. Em situações de baixa concentração do T3, o organismo eleva as concentrações do TSH e este inicia o processo de aumento do número de células foliculares, provocando hiperplasia da glândula tireoide. Caso não ocorra a correção desse problema, haverá a formação de uma estrutura nodular conhecida como bócio (KNOBEL; MEDEIROS-NETO, 2004). Nesta revisão, apenas o estudo de Li *et al.* (1987) avaliou a relação dos componentes sanguíneos com o estado nutricional de iodo. Já os estudos de El-Sayed *et al.* (1998) e Lu *et al.* (2017) avaliaram a deficiência ou excesso de iodo no seu estágio mais avançado quando o bócio já estava instalado.

Assim como o bócio, o cretinismo é considerado uma das manifestações mais graves da deficiência de iodo. Embora nenhum dos artigos desta revisão tenha relatado essa manifestação, o estudo de Oettingen *et al.* (2017) verificou relação entre os baixos valores de iodo urinário e desnutrição em crianças, pela presença do baixo peso e baixa estatura. Destaca-se que o mesmo utilizou para avaliação do crescimento e desenvolvimento o referencial do *Centers for Disease Control – CDC* (2000), pelos índices P/I e E/I, mesmo sendo publicado após a divulgação das novas curvas de crescimento propostas pela WHO (2006; 2007). Os parâmetros atualizados da WHO refletem o estado nutricional de diferentes populações, além de incluir o Índice de Massa Corporal por Idade (IMC/I) na avaliação do estado nutricional de crianças.

O estado nutricional do iodo interfere no processo de crescimento por ser constituinte dos hormônios tireoidianos (ERSHOW *et al.*, 2016) que atuam na remodelação óssea e fechamento das epífises (LIMA; NAVARRO, 2018). Este impacto no estado nutricional das crianças pode ser reflexo da deficiência de iodo durante a gestação e primeira infância, já que o estudo contemplou crianças de 9 meses a 6 anos de idade. Vale destacar que embora, este estudo não tenha considerado possíveis fatores confundidores da desnutrição, como má alimentação e vulnerabilidade socioeconômica, esta relação do estado nutricional de iodo refletindo na desnutrição infantil deve ser investigada.

Esta revisão apresenta como ponto forte a abordagem dos fatores ambientais (concentração de iodo na água e solo, e região geográfica) relacionados ao estado nutricional de iodo, permitindo o mapeamento de sua concentração no meio ambiente, e conseqüentemente o delineamento e monitoramento de políticas de iodação do sal de acordo com as especificidades ambientais de cada região. A política de iodação universal do sal é a medida profilática e terapêutica para combater as doenças provocadas pela ingestão insuficiente de iodo (WHO, 2001). Já em relação ao excesso de iodo são necessárias outras medidas de monitoramento, envolvendo o controle de iodo na água potável e no sal para consumo, conforme as prevalências de bócio na população (SHEN *et al.*, 2011).

Como fatores limitantes aponta-se que os estudos incluídos não contemplaram todos os grupos mais vulneráveis à deficiência de iodo, apesar da busca não ter limitado a população investigada. Os estudos foram pontuais,

em regiões específicas e cada resultado direcionado à sua região, o que implica na necessidade de ampliação dos estudos para todas as regiões geográficas do mundo como forma de abranger os diferentes fatores ambientais.

Utilizou-se o critério *Assessment of Multiple Systematic Reviews (AMSTAR)* (SHEA *et al.*, 2007) para avaliar a qualidade desta revisão sistemática, sendo a inclusão da literatura cinzenta nos resultados o único critério não contemplado. Porém, os materiais divulgados como relatórios, materiais científicos e outros tipos de publicações foram utilizadas na discussão da mesma atenuando esta limitação.

Considerações Finais

A avaliação do estado nutricional de iodo é muito ampla, além dos fatores socioeconômicos e de consumo alimentar comumente utilizados, é fundamental incluir a análise da concentração de iodo na água, no solo e região geográfica, pois estes fatores ambientais interferem na concentração do mineral.

Assim, sugere-se que os estudos sobre o estado nutricional desse mineral sejam multicêntricos, incluindo diferentes regiões e considerando os diferentes fatores ambientais que influenciam no consumo e consequentemente, na deficiência ou excesso de iodo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Referências

AZEVEDO, F. M. *et al.* Fatores associados ao estado nutricional de iodo de nutrízes e lactentes: uma revisão sistemática. **Revista Saúde e Desenvolvimento Humano**, v. 8, n. 1, p. 153-160, 2020.

BENOIST, B. *et al.* Iodine status worldwide. **WHO Global Database on Iodine Deficiency**. Department of Nutrition for Health and Development. Geneva: World Health Organization, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. UNICEF. **Cadernos de Atenção Básica: Carência de Micronutrientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60p.

CANDIDO, A. C. *et al.* Insufficient iodine intake in pregnant women in different regions of the world: a systematic review. **Archives Endocrinology Metabolism**, v. 63, n. 3, p. 306-311, 2019a.

CANDIDO, A. C. *et al.* Análise crítica dos indicadores do estado nutricional de iodo em indivíduos e populações: Uma revisão sistemática. **Ciência & Saúde Coletiva**. Disponível em: <<http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/analise-critica-dos-indicadores-do-estado-nutricional-de-iodo-em-individuos-e-populacoes-uma-revisao-sistemica/17361?id=17361>>. 2019b. Acesso em: 02 jun. 2020.

CORTECCI, G. Geologia e salute. L'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR. Disponível em: <<http://geologiae.igg.cnr.it/GeologiaeSaluteText.htm>>. Acesso em: 02 maio 2020.

EL-SAYED, N. A. *et al.* Iodine Deficiency Disorders Among School Children in Upper Egypt: An Epidemiologic Study. **Journal of Tropical Pediatrics**, v.44, p.270-274, 1998.

ERSHOW, A. G. *et al.* Research needs for assessing iodine intake, iodine status, and the effects of maternal iodine supplementation 1,2. **American Journal Clinic Nutrition**, v. 104, n. 2, p. 941-949, 2016.

FUGE, R.; JOHNSON, C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. **Applied Geochemistry**, v. 63, p. 282-302, 2015.

GIASSA, T. *et al.* Iodine intake and chronic autoimmune thyroiditis: a comparative study between coastal and mainland regions in Greece. **Hormones**, v. 17, p.565-571, 2018.

JOHNSON, C.C. The geochemistry of iodine and its application to environmental strategies for reducing the risks from iodine deficiency disorders. British Geological Survey Commissioned Report, 2003. 54 p.

KNOBEL, M.; MEDEIROS-NETO, G. Moléstias associadas à carência crônica de iodo. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v. 48, n. 1, p. 53-61, 2004.

LEE, S. L; ANANTHAKRISHNAN, S.; PEARCE, E. N. Iodine deficiency. 2006. Disponível em: <<http://www.emedicine.com/med/fulltopic/topic1187.htm#section-Treatment>>. Acesso em: 02 maio 2020.

LI, M. *et al.* Endemic goiter in Central China caused by excessive iodine intake. **The Lancet**, v. 2, p. 257-259, 1987.

LIMA, L. F.; NAVARRO, A. M. **Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes – Iodo/ISLI Brasil**. Série de Publicações ISLI Brasil: Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes, Força – Tarefa de Alimentos Fortificados e Suplementos, v. 22, p. 1-33, 2018.

LIU P. *et al.* Relationship between urinary iodine and goiter prevalence: Results of the Chinese national iodine deficiency disorders survey. **Journal Endocrinology Investigation**, v. 33, p. 26-31, 2010.

LU, C. S. *et al.* Surveys in Areas of High Risk of Iodine Deficiency and Iodine Excess in China, 2012-2014: Current Status and Examination of the Relationship between Urinary Iodine Concentration and Goiter Prevalence in Children Aged 8-10 Years. **Biomedicine Environmental Science**, v. 30, n. 2, p. 88-96, 2017.

LV, S.; RUTHERFORD, S.; DU, Y. An epidemiological survey of children's iodine nutrition and goitre status in regions with mildly excessive iodine in drinking water in Hebei Province, China – Corrigendum. **Public Health Nutrition**, v. 15, n. 7, p.168-173, 2012.

MOHER, D. *et al.* PRISMA GROUP. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine**, v.151, n.4, p.264-269, 2009.

OETTINGEN, J. E. von. *et al.* Population Survey of Iodine Deficiency and Environmental Disruptors of Thyroid Function in Young Children in Haiti. **Journal Clinic Endocrinology Metabolism**, v. 102, n. 2, p. 644-651, 2017.

PEARCE, E. N. *et al.* Effects of chronic iodine excess in a cohort of long-term American workers in West Africa. **Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 87, p. 5499-5502, 2002.

SHEA, B. J. *et al.* Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. **BMC Medical Research Methodology**, v. 7, n. 10, p. 1-7, 2007.

SHEN, H. *et al.* Geographical distribution of drinking-water with high iodine level and association between high iodine level in drinking-water and goitre: a Chinese national investigation. **British Journal of Nutrition**, v. 106, p. 243-247, 2011.

SMYTH, P. *et al.* Iodine status over two decades: influence of seaweed exposure. **Irish Medical Journal**, v. 109, n. 6, p. 421-429, 2016.

THE JOANNA BRIGGS INSTITUTE. The Joanna Briggs Institute Critical Appraisal tools for use in JBI Systematic Reviews— Checklist for Analytical Cross Sectional Studies. p. 5, 2017.

UTIGER, R. D. Iodine nutrition—more is better. **New England Journal of Medicine**, v. 354, p. 2819-2821, 2006.

WATTS, M. J. *et al.* A snapshot of environmental iodine and selenium in La Pampa and San Juan provinces of Argentina. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 107, n. 2, p. 87-93, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Effect and safety of salt iodization to prevent iodine deficiency disorders: a systematic review with meta-analyses**. Geneva, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND/INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE CONTROL OF IODINE DEFICIENCY DISORDERS. **Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers: a guide for programme managers**. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2007. 108p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. ONIS, M.; ONYANGO, A.W.; BORGHI, E.; SIYAM, A.; NISHIDA, C.; SIEKMANN, J. **Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents**. Bulletin of the World Health Organization 2007, p. 660-667.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **WHO Child Growth Standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age. Methods and development**. WHO (nonserial publication). Geneva, Switzerland: WHO, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND/INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE CONTROL OF IODINE DEFICIENCY DISORDERS. **Assessment of the iodine deficiency disorders and monitoring their elimination**. Geneva, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. United Nations Children's Fund. International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders. **Indicators for assessing iodine deficiency disorders and their control programmes: report of a joint WHO/UNICEF/ICCIDD Consultation**. Geneva: World Health Organization; 1992. 30p.

YU, Z.H; HU, X.Y; ZHU H.M. The Relation of iodine with the goiter prevalence in human subjects. **Acta Nutrimenta Sinica**, v.6, p. 255-260, 1984.

5. 1. 2. Fatores ambientais, físicos e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo: revisão sistemática.

Autores: Carina Aparecida Pinto, Dayane de Castro Morais, Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patricia Crispim, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro, Sylvia do Carmo Castro Franceschini, Silvia Eloiza Priore.

Resumo: Objetivo: Analisar os fatores ambientais, físicos e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo. Métodos: A revisão sistemática foi elaborada seguindo as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA)*. Para a definição dos termos de busca considerou-se os descritores e os sinônimos pelo *Medical Subject Headings (MeSH)*. Foram consultadas as bases de dados PubMed, Portal BVS (MEDLINE/LILACS) e Scopus (Elsevier). Resultados: Foram identificados 406 estudos e ao final foram incluídos sete. As amostras de água foram coletadas de torneira, poços, águas subterrâneas e água sem definição do local de coleta. Os fatores ambientais que interferiram na concentração de iodo na água de consumo foram: concentração de matéria orgânica, tipo de solo e de sedimento, distância de rio e de mar e precipitação (chuva). Enquanto os fatores físico e químicos incluíram: pH, ânion bicarbonato, carbono orgânico total, carbono orgânico dissolvido e isótopo de carbono inorgânico. Os fatores ambientais que promoveram maior concentração de iodo na água de consumo foram aumento da concentração de matéria orgânica, solo do tipo canela, sedimento argiloso cinza e distância menor que 80 km do mar. A maior distância do rio e a maior precipitação propiciaram menor concentração de iodo na água de consumo. Dentre os fatores físico e químicos, aqueles que aumentaram a concentração de iodo na água foram aumento da concentração do ânion bicarbonato, do carbono orgânico total e do carbono orgânico dissolvido. Enquanto, maior valor de pH e diminuição do valor do isótopo de carbono inorgânico levaram à diminuição e aumento da concentração de iodo na água, respectivamente. Conclusão: Os fatores ambientais, físicos e químicos interferem na concentração de iodo na água de consumo, promovendo em sua maioria, aumento do teor de iodo na água. Assim, torna-se fundamental conhecer estes fatores pois a água de consumo contribui para

a ingestão de iodo e conseqüentemente terá implicação na saúde da população.

Palavras-chave: iodo, água potável, meio ambiente, fatores físicos, fatores químicos, saúde pública.

Introdução

O iodo é um micronutriente essencial para a produção dos hormônios tireoidianos (triiodotironina e tiroxina) e para o bom funcionamento da glândula tireoide (BRASIL, 2007; WHO, 2007).

A deficiência e o excesso de iodo no organismo humano podem levar a distúrbios metabólicos denominados de Distúrbios por Deficiência de Iodo (DDI) e Distúrbios por Excesso de Iodo (DEI), respectivamente, ocasionando bócio, hipotireoidismo, cretinismo, hipertireoidismo, tireoidite, doenças autoimunes da tireoide e até câncer na tireoide (BRASIL, 2007; WHO, 2007; LAUBERG *et al.*, 2010; ANDERSEN *et al.*, 2012).

O iodo está presente naturalmente na água em diferentes concentrações e o seu teor na água de consumo pode variar de 0,1 a 150 µg/L apresentando importante contribuição no consumo do micronutriente e conseqüentemente no estado de saúde da população (JOHNSON, 2003; FUGE; JOHNSON, 2015).

Em várias províncias da China o consumo de água potável com elevadas concentrações de iodo (ZHAO; CHEN; MABERLY, 1998; ZHAO *et al.*, 2000; ANDERSEN *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2011, TANG *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2013), acima da necessidade nutricional do indivíduo, foi associado ao desenvolvimento do bócio e do hipotireoidismo na população local (ANDERSON *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2011).

Tendo em vista a importância do iodo na saúde humana e a contribuição da água no consumo do micronutriente, esta revisão tem como objetivo analisar os fatores ambientais, físicos e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo.

Metodologia

Desenho do estudo

Esta revisão sistemática foi elaborada seguindo as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA)* (MOHER *et al.*, 2009; PAGE *et al.*, 2021), sendo previamente registrada no *International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO)*.

Estratégia de busca

Esta revisão baseou-se na pergunta norteadora: “Quais os fatores ambientais, físicos e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo humano?”. Esta pergunta foi elaborada considerando o anagrama PECOS, em que a População de interesse (P) foi a água de consumo humano, Exposição (E) os fatores ambientais, físicos e químicos, sem Comparação (C), tendo como Desfecho (O) a concentração de iodo na água de consumo (baixa, alta ou em excesso), e sem restrição quanto ao desenho dos estudos incluídos (S).

Para a definição dos termos de busca considerou-se os descritores e os sinônimos pelo *Medical Subject Headings (MeSH)*. A estratégia de busca foi conduzida considerando como linha da população de interesse os termos “drinking water” OR “potable water”; da variável de interesse os termos environment OR soil OR soils OR “cold climate” OR “tropical climate” OR “hot temperature” OR “hot temperatures” OR “cold temperature” OR “cold temperatures” OR pesticide OR pesticides OR fertilizer OR fertilizers; e do desfecho o termo iodine. Ressalta-se que se utilizou os operadores booleanos AND entre os termos e o OR entre os sinônimos de cada termo. A estratégia de busca completa, das diferentes bases, está apresentada no Apêndice B.

A busca nas bases de dados foi realizada no dia 15 de março de 2022 por dois pesquisadores (C.A.P e D.C.M), em inglês, de forma independente, sem restrição do período de publicação. As bases de dados selecionadas para a pesquisa foram PubMed, Portal BVS (MEDLINE/LILACS) e Scopus (Elsevier), visando a inclusão de bases amplas e regionais que abordassem a temática. Para a inclusão de estudos relevantes, não identificados inicialmente pela busca sistemática nas bases de dados, realizou-se busca reversa na lista de referências de cada estudo incluído.

Crêterios de sele o dos estudos e extra o dos dados

As etapas de sele o dos artigos foram realizadas de forma independente por dois autores (C.A.P e D.C.M), e as discordâncias resolvidas por consenso. Os artigos identificados pelas buscas nas bases de dados foram inseridos no *software Rayyan*, sendo as duplicatas identificadas e excluídas. A sele o inicial deu-se pela leitura dos títulos e resumos, seguida dos textos completos. Foram excluídos os estudos que não responderam   pergunta norteadora do estudo, aqueles não disponíveis para leitura na íntegra; publicados em idioma diferente do inglês, português e espanhol; bem como revisões, protocolos de estudos e capítulos de livros.

Nos estudos selecionados extraiu-se as informa es de interesse, conforme pergunta norteadora, sendo construída uma planilha contendo os itens: autor, ano de publica o, local de realiza o do estudo, objetivo, desenho do estudo e os principais resultados.

Análise do risco de viés

Avaliou-se o risco de viés nos artigos incluídos seguindo a ferramenta de avalia o crítica para estudos transversais, recomendado pelo *The Joanna Briggs Institute (JBI)* (MOOLA *et al.*, 2020). Esta ferramenta   composta por oito perguntas relacionadas   presença dos cr terios de inclusão, descri o da amostra, medida adequada de exposi o, uso de cr terios objetivos e padronizados para mensurar o desfecho, identifica o de fatores de confusão, uso de medidas para controle dos fatores de confusão, medida adequada dos resultados e uso de estatísticas apropriadas (MOOLA *et al.*, 2020).

Para a classifica o do risco de viés de cada estudo considerou-se o percentual de respostas afirmativas (“sim”) sendo: $\geq 70\%$ indicativo de baixo risco de viés, entre 50 a 69% moderado e $\leq 49\%$ de alto (COSTA *et al.*, 2015). Os resultados desta avalia o não foram utilizados como critério de inclusão ou exclusão dos estudos na revisão sistemática.

Resultados

A busca inicial nas bases de dados resultou em 406 estudos. Após exclusão das duplicidades, 241 seguiram para a revisão de títulos e resumos,

sendo 18 selecionados para leitura do texto completo. Destes, seis foram excluídos por não estarem disponíveis na íntegra e/ou por terem sido publicados em idioma diferente do inglês, português e espanhol. Assim, dos 12 estudos lidos, cinco foram incluídos e mais dois foram adicionados a partir da busca reversa realizada nos mesmos, totalizando sete artigos nesta revisão (Figura 1).

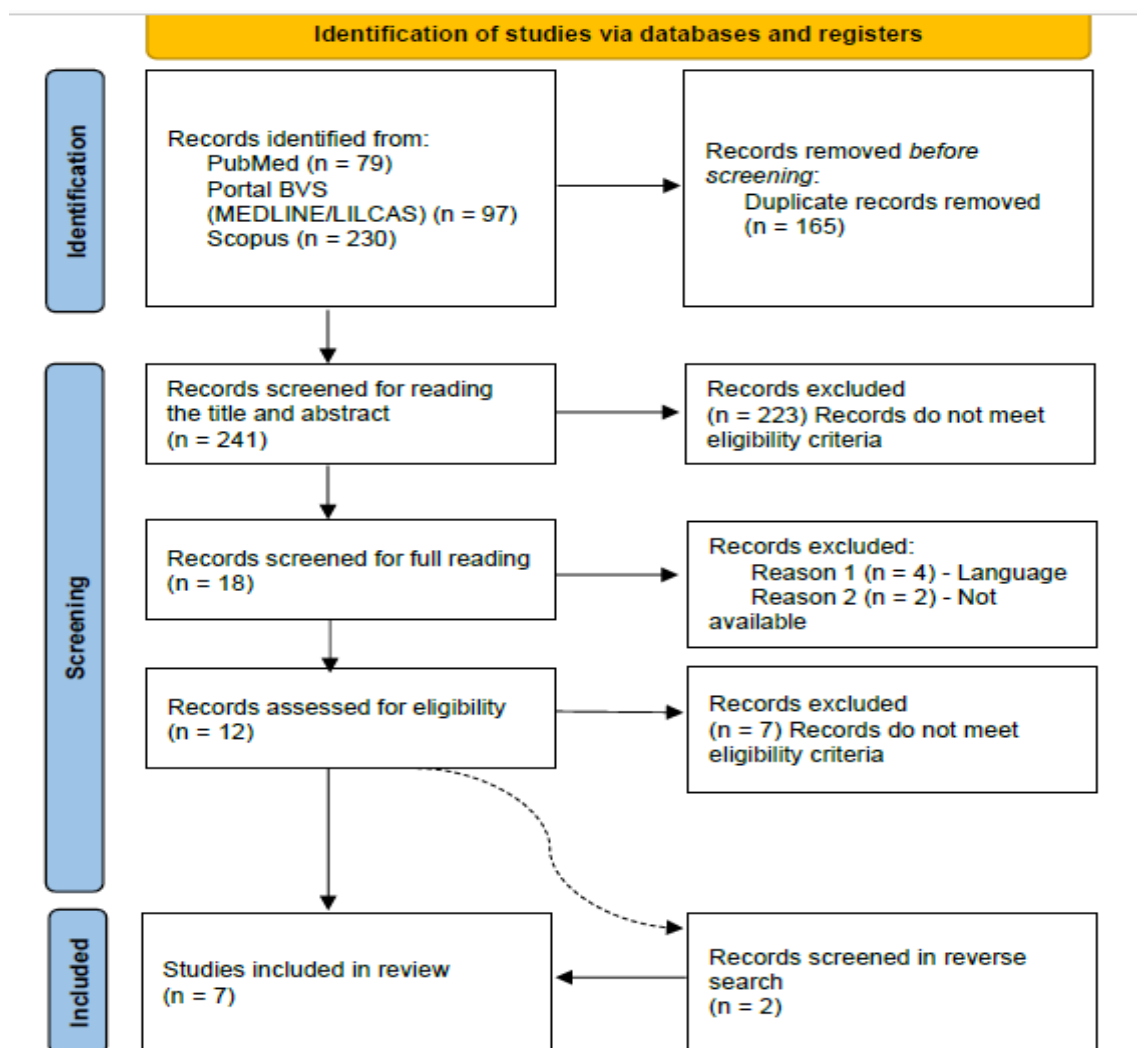


Figura 1- Etapas da elaboração da revisão sistemática.

Os artigos foram publicados no período de 2002 a 2021, sendo que todos apresentaram desenho do tipo transversal. Foram desenvolvidos na China (GAO *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2016; XUE *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2021), na Dinamarca (ANDERSEN; PETERSEN; LAUBERG, 2002; VOUTCHKOVA *et*

al., 2017) e na Mongólia (XU *et al.*, 2013). As amostras de água para consumo avaliadas foram de torneira, poços, subterrâneas e amostras sem identificação do local de coleta (Figura 2).

A concentração de iodo na água apresentou variação, conforme localização e fonte da água para consumo (Figura 2).

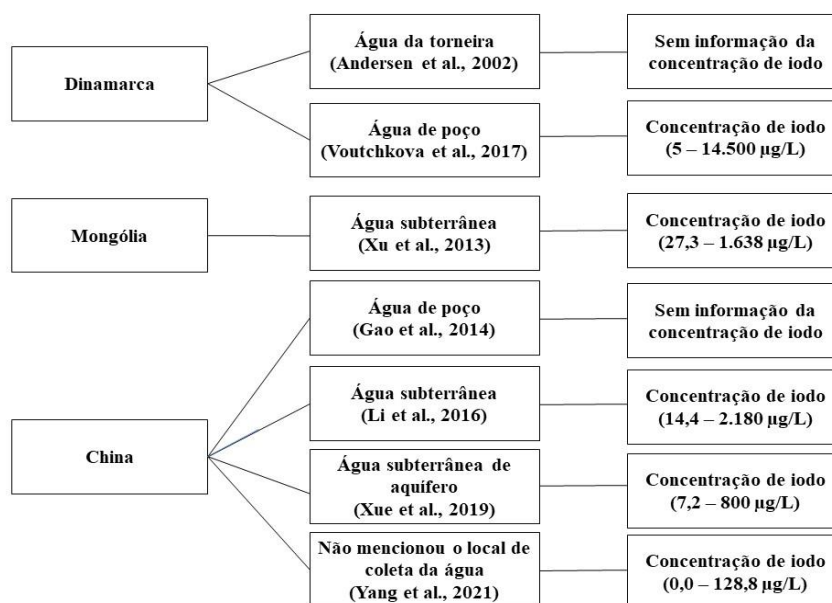


Figura 2 - Países onde as amostras de água para consumo foram avaliadas com suas respectivas concentrações de iodo.

Os fatores ambientais que interferiram na concentração de iodo na água de consumo foram: concentração da matéria orgânica (ANDERSEN *et al.*, 2002), tipo de solo (GAO *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2021), distância do rio (GAO *et al.*, 2014), tipo de sedimento (LI *et al.*, 2016), distância do mar (XUE *et al.*, 2019) e precipitação (chuva) (YANG *et al.*, 2021) (Figura 3). Já os físico e químicos incluíram: pH (ANDERSEN; PETERSEN; LAUBERG, 2002), ânion bicarbonato (HCO_3^-) (XU *et al.*, 2013, XUE *et al.*, 2019), carbono orgânico total (XU *et al.*, 2013), carbono orgânico dissolvido (VOUTCHKOVA *et al.*, 2017) e isótopo de carbono inorgânico (XUE *et al.*, 2019) (Figura 4).

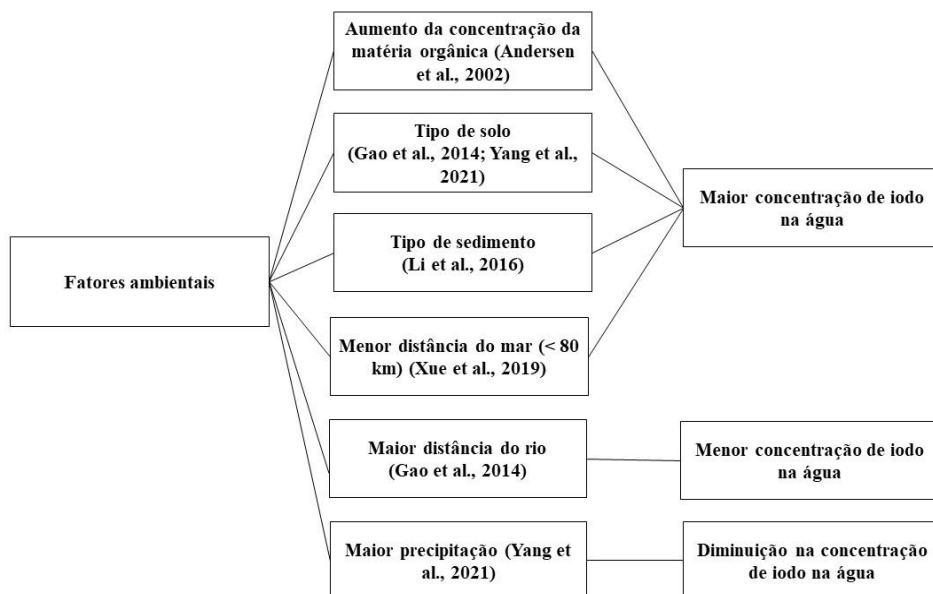


Figura 3 - Fatores ambientais que interferem na concentração de iodo na água de consumo.

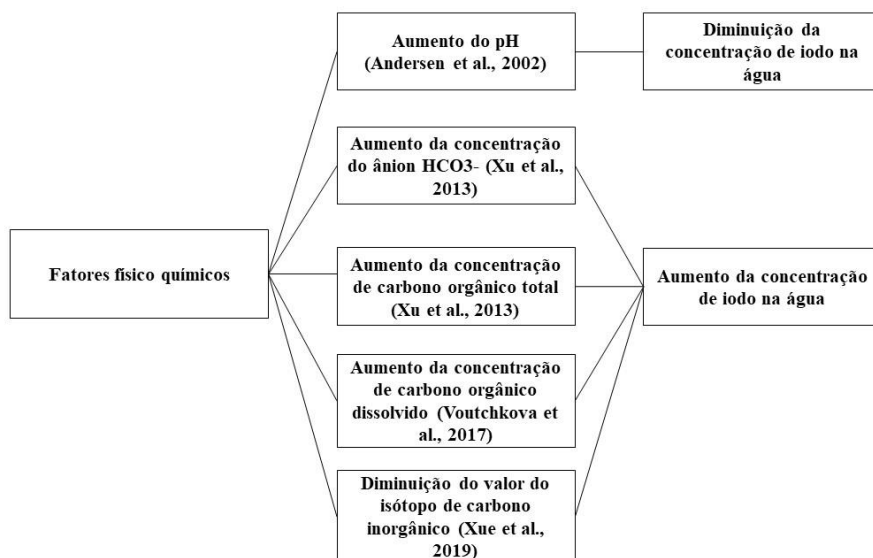


Figura 4 - Fatores físico e químicos que interferem na concentração de iodo na água de consumo.

Os estudos foram pouco claros (100%, n = 7), não especificando o número de amostras de água que foram analisadas e um estudo não informou o tipo de água de consumo avaliada. Além disso, em nenhum dos estudos

(100%, n = 7) houve análise dos fatores de confusão e destes três eram artigos descritivos (Figura 5).

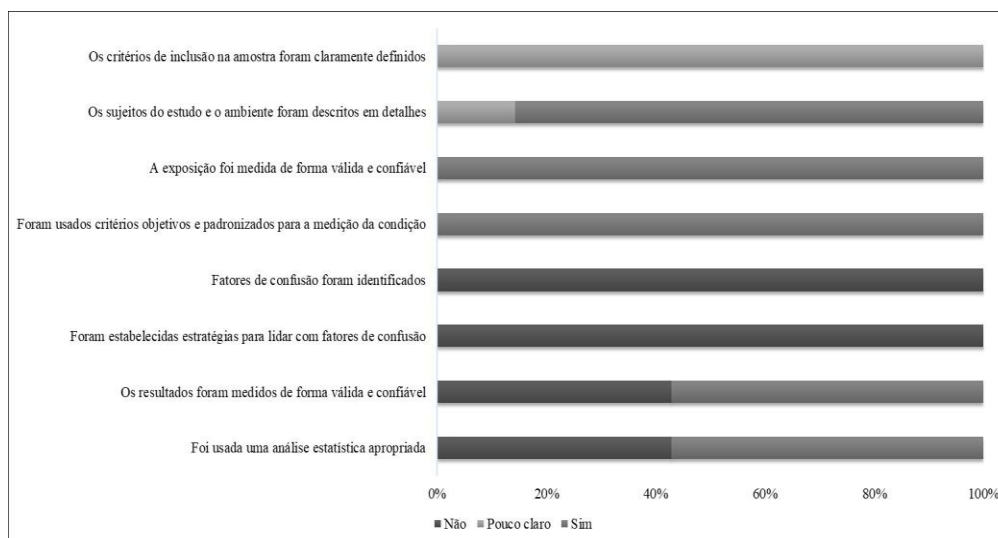


Figura 5 - Avaliação da qualidade dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Discussão

As amostras de água para consumo avaliadas nos estudos incluídos nesta revisão sistemática foram de diferentes fontes, incluindo água da torneira, de poço e subterrânea.

Nos estudos de Xu *et al.* (2013) e Li *et al.* (2016) 65% e 48% das amostras de água apresentaram concentração de iodo superior a 150 µg/L, respectivamente, sendo classificadas com alto teor de iodo de acordo com a recomendação do Ministério da Saúde da China (2003), e estas eram amostras de águas subterrâneas.

Algumas águas subterrâneas usadas como fontes potáveis apresentam alta concentração de iodo e em muitos casos elas fornecem elevada cobertura da necessidade de iodo para as populações que as consomem (WATTS *et al.*, 2010; VOUTCHKOVA *et al.*, 2014). Em algumas províncias da China as águas subterrâneas são muito ricas em iodo, e estudos já evidenciam os efeitos nocivos da ingestão excessiva de iodo na saúde da população (ANDERSEN *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2011; LI *et al.*, 2012).

Xue *et al.* (2019) e Yang *et al.* (2021) relataram que a concentração de iodo nas águas subterrânea e potável apresentaram mediana de 143 µg/L e 4,15 µg/L, respectivamente, sendo estas amostras classificadas com adequada e baixa concentração de iodo de acordo com o padrão nacional de água potável preconizado pelo Ministry of Health of China (2009). Vale destacar, que esta informação da concentração de iodo na água de consumo não foi relatada em todos os estudos (ANDERSEN; PETERSEN; LAUBERG, 2002; GAO *et al.*, 2014) não sendo possível inferir se estas amostras apresentavam concentração baixa, adequada, alta ou com excesso de iodo.

As amostras de água apresentaram grande variação na concentração de iodo e fatores ambientais, físico e químicos aumentaram ou diminuíram a concentração do mineral na água de consumo.

A matéria orgânica de origem marinha é considerada a principal fonte de iodo nos sedimentos e nas águas subterrâneas, e a degradação da matéria orgânica por microrganismos sob condições redutoras promove a liberação do mineral na água contribuindo para que a mesma apresente elevada concentração de iodo (XU *et al.*, 2013; XUE *et al.*, 2019).

Outro fator ambiental que interferiu na concentração de iodo na água foi o tipo de solo. A lixiviação faz com que o iodo penetre profundamente no solo e o tipo de solo por sua vez influencia na concentração do mineral na água (YANG *et al.*, 2021).

Segundo Fuge (2013), os solos que apresentam em sua composição compostos orgânicos, geralmente, são ricos em iodo e isso reflete a forte absorção do mineral pela matéria orgânica do solo. Outros compostos do solo que apresentam forte retenção de iodo são os óxidos de ferro e alumínio, enquanto os argilosos têm menor capacidade de retenção de iodo (FUGE, 2013).

Além do tipo de solo, outro fator ambiental que interferiu na concentração de iodo na água foi a menor distância até o rio. Segundo Gao *et al.* (2014), uma possível explicação para os altos níveis de iodo na água potável na China é que o Rio Amarelo por meio de suas inundações causou depósitos de iodo nas proximidades do rio, principalmente nas regiões de planícies.

O sedimento interferiu na concentração de iodo na água, sendo que os argilosos ricos em iodo e compostos orgânicos (como carbono orgânico total) servem como reservatório primário de iodo e atuam como principal transportador do mineral na matriz do aquífero contribuindo dessa maneira para a alta concentração do mineral na água (LI *et al.*, 2016).

A precipitação também interferiu na concentração de iodo na água. Com o seu aumento, o teor do mineral diminui gradualmente e isso ocorre porque a água da chuva com concentração muito baixa do mineral vai diluindo o iodo presente na mesma (YANG *et al.*, 2021). Segundo Yang *et al.* (2021), principalmente em Xinjiang na China, local que fica mais afastado do mar, a concentração de iodo na água da chuva é ainda menor.

Outro fator ambiental que interferiu na concentração de iodo na água foi a menor distância do mar. Já é bem documentado na literatura que o iodo da água do mar e as algas marinhas contribuem para o principal reservatório do ciclo global do iodo, resultando no enriquecimento do mineral na área costeira (FUGE; JOHNSON, 2015). Segundo Johnson (2003) a maior zona de influência marítima se estende entre 0 a 50 km de distância do mar, enquanto Fuge e Johnson (2015) citam esta distância em até 80 km do mar.

Em relação aos fatores químicos, o isótopo do carbono inorgânico apresentou relação inversa com a concentração de iodo na água, sendo que o valor mais alto deste isótopo pode indicar uma baixa degradação microbiana da matéria orgânica e conseqüentemente menor liberação de iodo na água (XUE *et al.*, 2019). Para os demais fatores físico e químicos (pH, ânion bicarbonato, carbono orgânico total e dissolvido) não estão claros os mecanismos pelos quais promovem o aumento ou a diminuição da concentração de iodo na água.

Esta revisão sistemática apresenta como pontos fortes o fato de determinar quais fatores ambientais, físico e químicos interferem na concentração de iodo na água de consumo e os mecanismos pelos quais eles levam ao aumento ou diminuição do teor de iodo na água. Entretanto como limitação, destaca-se a ausência de estudos que contemplam países de outros continentes além da Ásia e Europa como forma de se verificar se estes mesmos fatores ou outros interferem na concentração de iodo na água, pois a distribuição ambiental e disponibilidade do mineral pode variar de região para região.

De acordo com esta revisão vários fatores ambientais, físico e químicos interferiram na concentração de iodo na água de consumo e em sua maioria promoveram aumento do teor do mineral na água. Assim, destaca-se a importância de conhecer estes fatores porque o excesso de iodo na água de consumo da população pode ocasionar uma ingestão excessiva do micronutriente, ultrapassando a necessidade nutricional do indivíduo e podendo levar ao desenvolvimento de doenças relacionadas aos distúrbios por excesso de iodo.

Considerações Finais

Os fatores ambientais, físicos e químicos interferem na concentração de iodo na água de consumo, promovendo alterações (aumento e redução) no teor de iodo na água por diferentes mecanismos. Por sua vez, a concentração elevada na água pode apresentar contribuição significativa na ingestão do micronutriente e em alguns casos pode levar ao consumo excessivo de iodo ocasionando alterações na função tireoidiana e expondo à população aos distúrbios ocasionados por excesso de iodo.

Além disso, destaca-se a necessidade de mais estudos sobre esta temática em outras localidades como forma de investigar outros fatores ambientais, físicos e químicos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Referências

ANDERSEN, S. *et al.* Iodine deficiency influences thyroid autoimmunity in old age — A comparative population-based study. **Maturitas**, v. 71, p. 39-43, 2012.

ANDERSEN, S. *et al.* Speciation of iodine in high iodine groundwater in China associated with goitre and hypothyroidism. **Biological Trace Element Research**, v. 128, p. 95-103, 2009.

ANDERSEN, S.; PETERSEN, S. B.; LAURBERG, P. Iodine in drinking water in Denmark is bound in humic substances. **European Journal of Endocrinology**, v. 147, p. 663-670, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. UNICEF. **Cadernos de Atenção Básica: Carência de Micronutrientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60p.

COSTA, A. B. *et al.* Construção de uma escala para avaliar a qualidade metodológica de revisões sistemáticas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 20, p. 2441-2452, 2015. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015208.10762014>.

FUGE, R. Soils and iodine deficiency. In: SELINUS, O.; ALLOWAY, B.; CENTENO, J.A.; FINKELMAN, R.B.; FUGE, R.; LINDH, U.; SMEDLEY, P. **Essentials of Medical Geology**. Revised Edition. Springer, 2013. Chapter 17, p. 417-432.

FUGE, R.; JOHNSON, C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. **Applied Geochemistry**, v. 63, p. 282-302, 2015.

GAO, J. *et al.* Geographical Distribution Patterns of Iodine in Drinking-Water and Its Associations with Geological Factors in Shandong Province, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.11, p. 5431-5444, 2014.

JOHNSON, C. C. **The geochemistry of iodine and its application to environmental strategies for reducing the risks from iodine deficiency disorders**. British Geological Survey Commissioned Report, 2003. 54 p.

LAURBERG, P. *et al.* Iodine intake as a determinant of thyroid disorders in populations. **Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 24, p. 13-27, 2010.

LI, J. *et al.* Effects of water-sediment interaction and irrigation practices on iodine enrichment in shallow groundwater. **Journal of Hydrology**, v. 543, p. 293-304, 2016.

LI, W. *et al.* Benefits and risks from the national strategy for improvement of iodine nutrition: a community-based epidemiologic survey in Chinese schoolchildren. **Nutrition**, v. 28, p. 1142-1145, 2012.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. Delimitation for the endemic areas of iodine deficiency disorders. **Standardization Administration of China**. 2009.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. Determination and classification of the areas of high water iodine and the endemic areas of iodine excess goiter. **National Standard of the People's Republic of China. Standardization Administration of China**. 2003.

MOOLA, S. *et al.* Chapter 7: Systematic Reviews of Etiology and Risk, in: JBI Manual for Evidence Synthesis. JBI. 2020. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-08>.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372, 2021. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

SHEN, H. *et al.* Geographical distribution of drinking-water with high iodine level and association between high iodine level in drinking-water and goitre: a Chinese national investigation. **British Journal of Nutrition**, v. 106, p. 243-247, 2011.

TANG, Q. *et al.* Geochemistry of iodine-rich groundwater in the Taiyuan Basin of central Shanxi Province, North China. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 135, p. 117-123, 2013.

VOUTCHKOVA, D. D. *et al.* Iodine in major Danish aquifers. **Environmental Earth Science**, v. 76, p. 446-462, 2017.

VOUTCHKOVA, D. D. *et al.* Iodine concentrations in Danish groundwater: historical data assessment 1933 e 2011. **Environmental Geochemistry Health**, v. 36, p. 1151-1164, 2014.

WATTS, M. J. *et al.* A snapshot of environmental iodine and selenium in La Pampa and San Juan provinces of Argentina. **Journal Geochemistry Exploration**, v. 107, p. 87-93, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND/INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE CONTROL OF IODINE DEFICIENCY DISORDERS. **Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers: a guide for programme managers**. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2007. 108p.

XU, F. *et al.* The hydrogeochemical characteristics of high iodine and fluoride groundwater in the Hetao Plain, Inner Mongolia. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 7, p. 908-911, 2013.

XUE, X. *et al.* Effects of depositional environment and organic matter degradation on the enrichment and mobilization of iodine in the groundwater of the North China Plain. **Science of the Total Environment**, 686, p. 50-62, 2019.

YANG, Z. *et al.* Investigation on spatial variability and influencing factors of drinking water iodine in Xinjiang, China. **PLoS ONE**, v. 16, n. 12, p. 1-16, 2021.

ZHANG, E. *et al.* Iodine in groundwater of the North China Plain: Spatial patterns and hydrogeochemical processes of enrichment. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 135, p. 40-53, 2013.

ZHAO, J. K. *et al.* Endemic goiter associated with high iodine intake. **American Journal Public of Health**, v. 90, p. 1633-1635, 2000.

ZHAO, I.; CHEN, Z.; MABERLY, G. Iodine-rich drinking water of natural origin in China. **Lancet**, v. 352, p. 2024-2025, 1998.

5. 2. Artigos Originais

5. 2. 1. Concentração de iodo na água de consumo brasileira e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente em diferentes grupos fisiológicos.

Autores: Carina Aparecida Pinto, Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patricia Crispim, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro, Sylvia do Carmo Castro Franceschini, Nathalia Pizato, Franciane Rocha de Faria, Renata Junqueira Pereira, Carolina Abreu de Carvalho, Míriam Carmo Rodrigues Barbosa, Naiara Sperandio, Mariana de Souza Macedo, Silvia Eloiza Priore.

Resumo: Objetivo: Analisar a concentração de iodo na água de consumo brasileira e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente em diferentes grupos fisiológicos. Métodos: Foram analisadas amostras de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde de oito localidades, distribuídas por todas as cinco macrorregiões do território brasileiro. A quantificação de iodo na água foi realizada utilizando o método espectrofotométrico “leuco cristal violeta”. A classificação da concentração de iodo na água foi a preconizada pelo Ministério da Saúde da China, pela ausência de classificação no Brasil. Para inferir a possível contribuição da água de consumo na ingestão de iodo nos diferentes grupos fisiológicos (crianças, adolescentes, adultos/idosos, gestantes e nutrízes) considerou-se a ingestão hídrica recomendada pelo Instituto de Medicina dos Estados Unidos (2004). A Necessidade Média Estimada (EAR) de iodo foi utilizada para calcular o percentual do micronutriente na água de consumo e conseqüentemente sua contribuição na ingestão de iodo nos diferentes grupos estudados. Neste estudo realizou-se análise descritiva dos dados nos *softwares Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)*, versão 21.0 e *Statistical Analysis Systems (SAS)* versão 9.2. Resultados: Foram encontradas diferenças entre a concentração máxima e mínima de iodo nas amostras de água de uma mesma localidade. Na cidade de Pinhais (Região Sul) a diferença foi de 44,32 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; em Viçosa (Região Sudeste) de 27,86 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; em Rondonópolis (Região Centro Oeste) de 12,66 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; em São Luís (Região Nordeste) de 11,82 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; em Brasília – Distrito Federal (Região Centro Oeste) de 10,98 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; em Macaé (Região Sudeste)

de 10,14 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; em Palmas (Região Norte) de 4,22 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ e em Vitória (Região Sudeste) de 1,69 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. As concentrações máximas de iodo encontradas na água de consumo de Pinhais e de Viçosa poderiam contribuir com mais de 70,0% e de 50,0% na ingestão diária do micronutriente em todos os grupos fisiológicos, respectivamente. Conclusão: O monitoramento da concentração de iodo na água de consumo nos diferentes locais das macrorregiões brasileiras é uma forma de evitar a ingestão inadequada do micronutriente e possíveis efeitos na saúde da população.

Palavras-chave: iodo, água potável, ingestão de líquidos, grupos etários.

Introdução

O iodo é um micronutriente essencial ao organismo humano e parte constituinte dos hormônios tireoidianos. A ingestão inadequada, insuficiente ou excessiva de iodo pode provocar alterações na glândula tireoide (TENG *et al.*, 2006; WHO, 2007).

A deficiência de iodo pode causar o bócio, mais também danos cerebrais irreversíveis no feto, conhecido como cretinismo, retardos no desenvolvimento e crescimento físico das crianças, e nas gestantes as principais consequências observadas são abortos, natimortos, anomalias congênitas e aumento da mortalidade perinatal (BRASIL, 2007). Enquanto, a ingestão excessiva de iodo pode resultar em doenças da tireoide, como bócio nodular, hipertireoidismo e tireoidite de Hashimoto (TENG *et al.*, 2006; ZHAO *et al.*, 2014).

A China foi o primeiro país do mundo a relatar casos de bócio decorrentes do excesso de iodo na água. (SHEN *et al.*, 2011). Neste país, alguns estudos evidenciaram que o excesso de iodo na água potável, principalmente na concentração de 300 a 1.300 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, provocou ingestão excessiva tendo como consequência alta prevalência de bócio endêmico em indivíduos de 8 a 10 anos (LI *et al.*, 1987; ZHAO; CHEN; MABERLY, 1998; ZHAO *et al.*, 2000).

Shen *et al.* (2011) realizaram investigação nacional chinesa para mapear a distribuição geográfica da água potável com altos níveis de iodo e observaram que a concentração de iodo superior a 300 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ resultou em maior concentração de iodo urinário, tendo como consequência maior

prevalência de bócio (11,0%) em escolares de 8 a 10 anos. Esta pesquisa permitiu identificar os locais com alta concentração e excesso de iodo na água de consumo e quatro recomendações foram fornecidas ao governo chinês especificamente para estas regiões, sendo elas: interromper a venda de sal iodado, substituir a água de consumo e fornecer água do gasoduto com adequada concentração de iodo, monitorar a concentração do mineral na água e a prevalência de bócio.

Na literatura, grande parte dos estudos referente à concentração de iodo na água é realizada na China, permitindo a identificação de regiões com insuficiência, suficiência ou excesso de iodo na água potável, e conseqüentemente o estabelecimento de políticas públicas específicas para estas regiões. O Brasil, ao contrário, não dispõe de estudos sobre a concentração de iodo na água de consumo.

Assim, tendo em vista que a ingestão insuficiente e excessiva de iodo provoca alterações na função tireoidiana com impacto na saúde da população, e que a concentração de iodo na água de consumo pode ser um determinante do estado nutricional do micronutriente, este estudo teve como objetivo analisar a concentração de iodo na água de consumo brasileira e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente em diferentes grupos fisiológicos.

Metodologia

Análise das amostras de água

Analisou-se amostras de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) de sete municípios e do Distrito Federal, distribuídos nas cinco macrorregiões brasileiras (Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul). A coleta de todas as amostras ocorreu na estação climática verão entre o período de 21/12/2018 a 19/03/2019. Os locais, as regiões e os números de amostras de água analisadas em cada local estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1 - Localidade, região brasileira e número de amostras de água analisadas em cada local.

Localidade	Região brasileira	Número de amostras de água
Brasília	Centro-Oeste	12
Rondonópolis	Centro-Oeste	15
São Luís	Nordeste	12
Palmas	Norte	10
Macaé	Sudeste	9
Viçosa	Sudeste	14
Vitória*	Sudeste	3
Pinhais	Sul	10

*Nesta localidade não foi possível coletar as amostras de água em todas as Unidades Básicas de Saúde (n=15).

As amostras de água foram recolhidas em frascos de polietileno de 200 mL cada pelas equipes locais e mantidas congeladas (-18°C) nos centros de pesquisa de cada local até a data de envio ao laboratório de pesquisa de Química e Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa. Todas as amostras foram transportadas congeladas em caixas térmicas e, após a recepção no laboratório foram mantidas à temperatura de 4°C até o momento da análise.

Determinação da concentração de iodo na água de consumo

A metodologia para a quantificação da concentração de iodo na água foi realizada de acordo com o descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 4500-I B, método espectrofotométrico “leuco cristal violeta”, o qual determina o iodo aquoso, sob a forma de iodo elementar e ácido hipoiódico (S.M.E.W.W, 2005).

Para cada dia de análise, uma curva analítica foi construída. Para isso, a solução de uso de 10 mg de iodo·L⁻¹ era recentemente preparada a partir da solução estoque de iodeto de potássio (KI) (1 mg de iodo/mL).

A partir da solução de uso de 10 mg de iodo·L⁻¹ foram pipetadas alíquotas de 250 µL a 2.500 µL, em balões volumétricos de 100 mL, completando-se o volume com água ultrapura. Em seguida, transferiu-se 50 mL de cada balão volumétrico para outros balões volumétricos de 100 mL. Na sequência, foram adicionados 1 mL de solução tampão cítrica e 0,5 mL de

peroximonossulfato de potássio, agitando-se por aproximadamente um minuto. Depois adicionou-se 1 mL de indicador “leuco cristal violeta” e completou-se o volume do balão com água ultrapura. Assim, as concentrações das soluções padrão de iodo para a curva analítica de 0,0125; 0,0250; 0,0375; 0,0500; 0,0625; 0,0750; 0,0875; 0,1000; 0,1125 e 0,1250 mg de iodo·L⁻¹ foram obtidas.

As leituras de absorvâncias foram realizadas a 592 nm, à temperatura ambiente, em espectrofotômetro ultravioleta – visível (*modelo UV/VIS 9200, marca Rayleigh*), utilizando-se uma cubeta de 10 mm; comparadas com um branco (concentração 0 mg·L⁻¹) nas mesmas condições. A partir destas leituras plotou-se os valores de absorvância versus concentração de iodo para construir a curva analítica com 11 níveis de concentração, sendo cada ponto representado pela média de duas determinações. A construção desta curva garante a validação do método “leuco cristal violeta” para a determinação da concentração de iodo.

Para análise das amostras de água, mediu-se 50 mL em uma proveta e transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL. Neste balão adicionou-se 1 mL de solução tampão cítrica e 0,5 mL de peroximonossulfato de potássio agitando-se por aproximadamente um minuto. Em seguida, adicionou-se 1 mL de indicador “leuco cristal violeta” e completou-se o volume com água ultrapura. Esta análise foi realizada em triplicata e, para obtenção de melhores resultados as leituras de absorvâncias foram realizadas dentro de cinco minutos após a adição do indicador “leuco cristal violeta”. As leituras das absorvâncias foram realizadas nas mesmas condições da solução padrão e a partir da curva analítica os resultados foram expressos em µg de iodo·L⁻¹.

A cada nova série de análises das amostras de água foi construída uma curva padrão de iodo para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

A legislação chinesa foi adotada como referência para avaliar a concentração de iodo na água potável, sendo adotados os pontos de corte: <10 µg/L (água com baixa concentração de iodo); 10 a 150 µg/L (água com concentração adequada de iodo); > 150 µg/L (água com alta concentração de iodo) e > 300 µg/L (água com excesso de iodo) (MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2003; MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2009).

Estimativa do consumo de água

A partir das concentrações mínima e máxima de iodo encontrada na água de consumo dos diferentes locais, calculou-se a ingestão do micronutriente em μg para os grupos fisiológicos de crianças, adolescentes, adultos/idosos, gestantes e nutrizes. Para isso, levou-se em consideração a ingestão hídrica recomendada para cada grupo fisiológico com base na recomendação do Instituto de Medicina dos Estados Unidos (IOM, 2004), sendo estabelecida a ingestão hídrica para indivíduos de um a três anos de 1 litro e 300 mL; de quatro a oito anos de 1 litro e 700 mL; de nove a 13 anos de 2 litros e 100 mL; de 14 a 18 anos de 2 litros e 300 mL; de 19 a maiores de 70 anos de 2 litros e 700 mL; gestantes de 3 litros e nutrizes de 3 litros e 800 mL (IOM, 2004). Nesta avaliação da ingestão do micronutriente a partir da água de consumo foram considerados os indivíduos do sexo feminino como forma de contemplar as gestantes e nutrizes, considerados grupos vulneráveis à deficiência de iodo.

Para calcular o percentual de iodo presente nas amostras de água dos diferentes locais e sua possível contribuição na ingestão do micronutriente para os diferentes grupos fisiológicos, utilizou-se como referência a Necessidade Média Estimada (EAR) de iodo recomendada pelo Instituto de Medicina (2001).

Análise estatística

Para a determinação da concentração de iodo nas amostras de água foi utilizada a curva analítica média ajustada por análise de regressão linear, com 95% de confiança, no programa *Statistical Analysis Systems (SAS)* (Statistical Analysis System - SAS Institute, Cary, NC, EUA) versão 9.2, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa.

A análise dos dados foi realizada no programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 21.0 e adotou-se nível de significância $\alpha = 5\%$. Realizou-se análise estatística descritiva dos dados e estes foram expressos em frequências absoluta e relativa. Utilizou-se a mediana, acompanhada dos valores mínimo e máximo para descrever a concentração de iodo na água de consumo.

Aspectos éticos

Este estudo é parte do projeto intitulado “Estado nutricional de iodo, sódio e potássio no grupo materno-infantil brasileiro: um estudo multicêntrico”; que foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Viçosa com número de parecer 2.496.986.

Resultados

A Figura 1 representa a curva analítica que foi utilizada para calcular a concentração de iodo nas amostras de água expressa em $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

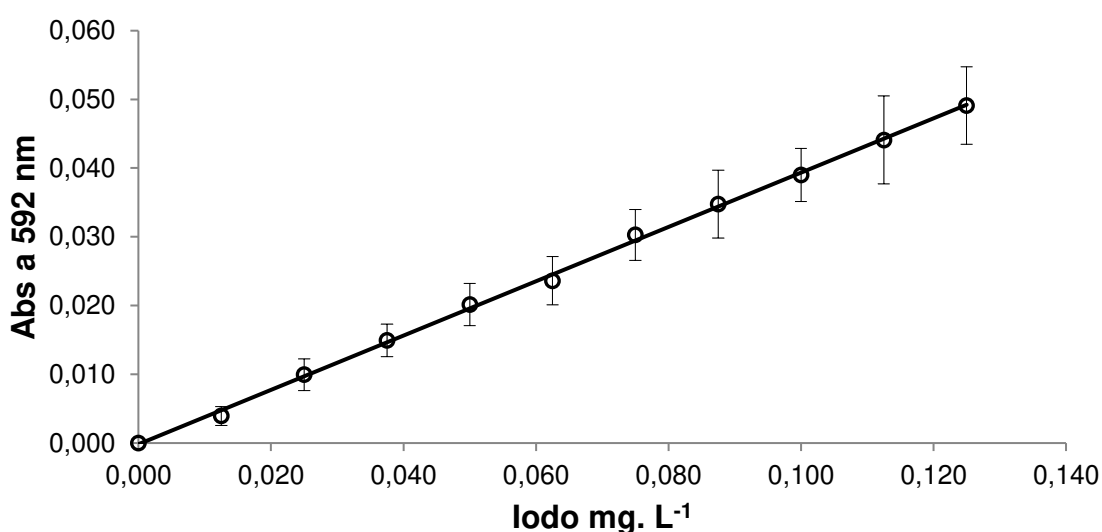


Figura 1 - Curva analítica ajustada para quantificação de iodo nas amostras de água coletadas nas localidades que contemplam as cinco macrorregiões brasileiras. Modelo de regressão linear $\hat{y}=0,3949*x - 0,00015$; $R^2 = 0,9989$; $p<0,0001$.

Em relação à classificação da concentração de iodo na água potável 100% das amostras dos municípios de Palmas (Região Norte) ($n=10$) e Vitória (Região Sudeste) ($n=3$) apresentaram baixa concentração de iodo. Das amostras de Pinhais (Região Sul), 80,0% ($n=8$) apresentaram concentração adequada do mineral. Destaca-se que nenhuma das amostras de água dos diferentes locais das cinco macrorregiões brasileiras apresentou alta concentração ou excesso de iodo com base na classificação do Ministério da Saúde da China (Tabela 1).

As concentrações medianas, mínimas e máximas de iodo nas amostras de água dos locais pertencentes às macrorregiões brasileiras encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 - Percentual por classificação da concentração de iodo nas amostras de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) dos locais pertencentes às macrorregiões brasileiras.

Locais/Regiões	Concentração de iodo na água							
	Baixo		Adequado		Alto		Excesso	
	< 10 µg· L ^{-1*}		10 – 150 µg· L ^{-1*}		> 150 µg· L ^{-1**}		> 300 µg· L ^{-1**}	
	N	%	n	%	N	%	n	%
Brasília/Centro-Oeste	10	83,3	2	16,7	-	-	-	-
Rondonópolis/Centro-Oeste	14	93,3	1	6,7	-	-	-	-
São Luís/Nordeste	11	91,7	1	8,3	-	-	-	-
Palmas/Norte	10	100,0	-	-	-	-	-	-
Macaé/Sudeste	7	77,8	2	22,2	-	-	-	-
Viçosa/Sudeste	12	85,7	2	14,3	-	-	-	-
Vitória/Sudeste	3	100,0	-	-	-	-	-	-
Pinhais/Sul	2	20,0	8	80,0	-	-	-	-

*Ministry of Health of China, 2009; **Ministry of Health of China, 2003.

Tabela 2 - Concentração mediana, mínima e máxima de iodo nas amostras de água coletadas nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) dos locais pertencentes às macrorregiões brasileiras.

Água de consumo	Locais/Regiões							
	Centro-Oeste		Nordeste	Norte	Sudeste		Sul	
	Brasília	Rondonópolis	São Luís	Palmas	Macaé	Viçosa	Vitória	Pinhais
Concentração mediana ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,65	3,76	1,65	2,49	2,91	3,33	2,07	17,26
Concentração mínima ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,38	0,38	0,38	0,38	1,22	0,38	1,22	5,45
Concentração máxima ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	11,36	13,04	12,20	4,60	11,36	28,24	2,91	49,77

Observou-se diferenças significativas entre a concentração máxima e mínima de iodo nas amostras de água de um mesmo local, sendo de 44,32 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Pinhais (Região Sul) ; 27,86 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Viçosa(Região Sudeste); 12,66 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Rondonópolis (Região Centro-Oeste); 11,82 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em São Luís (Região Nordeste) ; 10,98 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Brasília(Região Centro-Oeste); 10,14 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Macaé (Região Sudeste); 4,22 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Palmas (Região Norte) e 1,69 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ em Vitória (Região Sudeste).

Os percentuais de iodo encontrados na água de consumo dos diferentes locais e sua contribuição (mínima e máxima) na ingestão do micronutriente nos diferentes grupos fisiológicos encontra-se disposto no quadro 2.

Quadro 2 - Valores mínimos, máximos (μg) e percentuais de iodo na água de consumo dos diferentes locais e sua contribuição mínima e máxima na ingestão do micronutriente nos diferentes grupos fisiológicos.

Grupos Fisiológicos	Necessidade Média Estimada (EAR) de iodo*	Valores mínimos, máximos (μg) e percentuais de iodo na água de consumo e sua contribuição mínima e máxima na ingestão do micronutriente							
		Locais							
		Brasília		Rondonópolis		São Luís		Palmas	
		Mínima ¹	Máxima ²	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
1-3 anos	65 μg	0,49 μg 0,75%	14,77 μg 22,72%	0,49 μg 0,75%	16,95 μg 26,08%	0,49 μg 0,75%	15,86 μg 24,40%	0,49 μg 0,75%	5,98 μg 9,20%
4-8 anos	65 μg	0,65 μg 1,00%	19,31 μg 29,71%	0,65 μg 1,00%	22,17 μg 34,11%	0,65 μg 1,00%	20,74 μg 31,91%	0,65 μg 1,00%	7,82 μg 12,03%
9-13 anos	73 μg	0,80 μg 1,09%	23,86 μg 32,68%	0,80 μg 1,09%	27,38 μg 37,50%	0,80 μg 1,09%	25,62 μg 35,09%	0,80 μg 1,09%	9,68 μg 13,26%
14-18 anos	95 μg	0,87 μg 0,92%	26,13 μg 27,51%	0,87 μg 0,92%	29,99 μg 31,57%	0,87 μg 0,92%	28,06 μg 29,53%	0,87 μg 0,92%	10,58 μg 11,13%
19-50 anos, 51-70 anos e > 70 anos	95 μg	1,03 μg 1,08%	30,67 μg 32,28%	1,03 μg 1,08%	35,21 μg 37,06%	1,03 μg 1,08%	32,94 μg 34,67%	1,03 μg 1,08%	12,42 μg 13,07%
Gestante (14-50 anos)	160 μg	1,14 μg 0,71%	34,08 μg 21,30%	1,14 μg 0,71%	39,12 μg 24,45%	1,14 μg 0,71%	36,60 μg 22,88%	1,14 μg 0,71%	13,80 μg 8,63%
Nutriz (14-50 anos)	200 μg	1,44 μg 0,72%	43,17 μg 21,59%	1,44 μg 0,72%	49,55 μg 24,78%	1,44 μg 0,72%	36,60 μg 18,30%	1,44 μg 0,72%	17,48 μg 8,74%

Quadro 2 - Continua.

Grupos Fisiológicos	Necessidade Média Estimada (EAR) de iodo*	Valores mínimos, máximos (µg) e percentuais de iodo na água de consumo e sua contribuição mínima e máxima na ingestão do micronutriente							
		Locais							
		Macaé		Viçosa		Vitória		Pinhais	
		Mínima ¹	Máxima ²	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
1-3 anos	65 µg	1,59 µg 2,45%	14,77 µg 22,72%	0,49 µg 0,75%	36,71 µg 56,47%	1,59 µg 2,45%	3,78 µg 5,82%	7,09 µg 10,91%	64,70 µg 99,54%
4-8 anos	65 µg	2,07 µg 3,18%	19,31 µg 29,71%	0,65 µg 1,00%	48,00 µg 73,85%	2,07 µg 3,18%	4,95 µg 7,61%	9,27 µg 14,26%	84,61 µg 130,17%
9-13 anos	73 µg	2,56 µg 3,51%	23,86 µg 32,68%	0,80 µg 1,09%	59,30 µg 81,23%	2,56 µg 3,51%	6,11 µg 8,37%	11,45 µg 15,68%	104,52 µg 143,18%
14-18 anos	95 µg	2,81 µg 2,96%	26,13 µg 27,51%	0,87 µg 0,92%	64,95 µg 68,37%	2,81 µg 2,96%	6,69 µg 7,04%	12,54 µg 13,20%	114,47 µg 120,49%
19-50 anos, 51-70 anos e > 70 anos	95 µg	3,29 µg 3,46%	30,67 µg 32,28%	1,03 µg 1,08%	76,25 µg 80,26%	3,29 µg 3,46%	7,86 µg 8,27%	14,71 µg 15,48%	134,38 µg 141,45%
Gestante (14-50 anos)	160 µg	3,66 µg 2,29%	34,08 µg 21,30%	1,14 µg 0,71%	84,72 µg 52,95%	3,66 µg 2,29%	8,73 µg 5,46%	16,35 µg 10,22%	149,31 µg 93,32%
Nutriz (14-50 anos)	200 µg	4,64 µg 2,32%	43,17 µg 21,59%	1,44 µg 0,72%	107,31 µg 53,66%	4,64 µg 2,32%	11,06 µg 5,53%	20,71 µg 10,36%	189,13 µg 94,57%

*IOM, 2001. Valores não determinados para indivíduos de 0-12 meses.

¹Mínima: refere-se à concentração mínima de iodo encontrada na água de consumo do local; ²Máxima: refere-se à concentração máxima de iodo encontrada na água de consumo do local.

As concentrações máximas de iodo encontradas na água de consumo de Pinhais e de Viçosa poderiam contribuir com mais de 50% na ingestão diária do micronutriente em todos os grupos fisiológicos (Quadro 2).

No município de Viçosa, a água de consumo poderia contribuir com 73,9% da ingestão diária de iodo nos indivíduos dos quatro aos oito anos, 81,2% dos nove aos 13 anos e 80,3% dos 19 aos 50 anos. Enquanto no município de Pinhais, a água de consumo poderia contribuir com mais de 93,0% na ingestão diária de iodo em todos os grupos fisiológicos, chegando a contribuir com mais de 100,0% para os indivíduos de quatro aos oito anos (130,2%), de nove aos 13 anos (143,2%), de 14 aos 18 anos (120,5%) e de 19 aos 50 anos (141,5%) (Quadro 2).

Discussão

No Brasil, nenhuma das amostras de água dos diferentes locais das cinco macrorregiões brasileiras apresentou alta concentração ($>150 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) ou excesso de iodo ($>300 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), segundo classificação do Ministério da Saúde da China (MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2003). No entanto, amostras de uma mesma localidade apresentaram diferenças significativas entre a concentração mínima e máxima, tendo uma contribuição discrepante na ingestão de iodo nos diferentes grupos fisiológicos.

Os municípios de Pinhais e de Viçosa apresentaram os maiores percentuais de iodo na água de consumo e conseqüentemente as maiores contribuições na ingestão do micronutriente. A concentração máxima de iodo na água de consumo destes locais poderia contribuir com mais de 50% na ingestão diária do micronutriente em todos os grupos fisiológicos. Ressalta-se que além da água de consumo, tem-se a ingestão de sal iodado e o iodo presente nos alimentos. Assim, se uma criança de oito anos do município de Pinhais ingerisse 1 litro e 700 mililitros de água por dia teria uma ingestão de iodo de $84,6 \mu\text{g}$ e, considerando o consumo de 5 gramas de sal por dia, segundo recomendação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2006), apresentando uma concentração média de 30 mg de iodo por kg de sal, apresentaria uma ingestão de $150,0 \mu\text{g}$, totalizando $234,6 \mu\text{g}$ de iodo por dia. Esta ingestão seria 3,6 vezes superior à necessidade média estimada do micronutriente ($65 \mu\text{g}/\text{dia}$)

para crianças de um aos oito anos (IOM, 2001). No entanto, se fosse considerado o consumo de sal identificado pela Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) (IBGE, 2011), de 12 gramas de sal por dia, a ingestão de iodo desta criança seria de 360,0 µg/dia e, considerando a mesma ingestão do micronutriente a partir da água de consumo, totalizaria 444,6 µg/dia, representando uma ingestão excessiva (≥ 300 µg/), sendo quase sete vezes (6,8) superior à necessidade média estimada do micronutriente para este grupo fisiológico. Vale destacar que a POF referente ao consumo alimentar tem como amostra indivíduos maiores de 10 anos de idade, mesmo assim, optou-se por utilizar esta informação para se obter uma estimativa do consumo total de iodo a partir da água mais o sal iodado.

Os resultados da Pesquisa Nacional para Avaliação do Impacto da Iodação do Sal (PNAISAL) realizado com 19.600 escolares entre seis e 14 anos evidenciaram que 25,2% destes apresentavam iodúria entre 200-299 µg/dia (ingestão mais que adequada) e 44,6% iodúria ≥ 300 µg/dia (ingestão excessiva) (SANTOS; CESAR, 2016). Apesar de não termos avaliado a iodúria neste estudo, o escolar de oito anos que utilizamos no exemplo, também poderia apresentar ingestão mais que adequada e excessiva de iodo se considerado o consumo de água potável com maior concentração de iodo e o consumo de sal iodado (5 gramas ou 12 gramas de sal por dia). Esta ingestão excessiva de iodo pode causar bócio, hipotireoidismo e hipertireoidismo manifesto, hipotireoidismo e hipertireoidismo subclínico, doença autoimune da tireoide, alergias ao iodo e perda de inteligência (YU *et al.*, 1999; BOURNAUD; ORGIAZZI, 2003; TENG *et al.*, 2006; LI *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2009).

Se considerarmos um indivíduo adulto que consumisse 2 litros e 700 mL de água residente em Pinhais ou em Viçosa, este teria uma ingestão diária de iodo de 134,4 µg ou 76,3 µg, respectivamente. Acrescentando uma ingestão de 5 gramas de sal por dia, de acordo com a recomendação do Ministério da Saúde (2006), este teria uma ingestão diária de 150 µg de iodo, totalizando 234,4 µg/dia (Pinhais) e 226,3 µg/dia (Viçosa). Esta ingestão diária de iodo considerando o consumo de água potável com maior concentração do micronutriente mais o sal iodado representaria uma ingestão mais que adequada 200-299 µg/dia. Por outro lado, se fosse considerado o consumo de 12 gramas de sal por dia, que o brasileiro normalmente consome (IBGE, 2011),

o indivíduo teria uma ingestão de iodo de 360,0 µg/dia, totalizando 494,4 µg/dia (Pinhais) e 436,3 µg/dia (Viçosa), representando uma ingestão excessiva do micronutriente (≥ 300 µg/dia), sendo 5,2 e 4,6 vezes superior à necessidade média estimada deste grupo (95 µg/dia) (IOM, 2001), respectivamente, expondo a população adulta aos riscos do excesso de iodo no organismo.

A população de gestantes e nutrizes, raramente apresenta estado nutricional de iodo excessivo, pois a necessidade do micronutriente é maior devido à situação fisiológica (SARAIVA *et al.*, 2018). Neste estudo, as gestantes e nutrizes do município de Viçosa apresentariam uma ingestão diária de iodo de 84,7 µg e 107,3 µg, se tivessem uma ingestão hídrica de 3 litros e 3 litros e 800 mL, respectivamente, considerando o consumo de água potável com maior concentração do micronutriente. Se considerássemos o consumo de água potável mais sal iodado (5 gramas de sal por dia), as gestantes e nutrizes teriam uma ingestão diária de iodo de 234,7 µg e 257,3 µg, respectivamente, ultrapassando a necessidade média estimada do micronutriente de 160 µg/dia para gestantes e 200 µg/dia para nutrizes (IOM, 2001). Entretanto, se considerássemos o consumo de 12 gramas de sal por dia mais o consumo de água potável, as gestantes apresentariam uma ingestão diária de iodo de 444,7 µg e as nutrizes 467,3 µg, sendo quase 2,8 e 2,4 vezes superior à necessidade média estimada para estes grupos populacionais.

No município de Pinhais, as gestantes e nutrizes apresentariam uma ingestão de iodo de 299,3 µg/dia e 339,1 µg/dia, considerando o consumo de água potável com maior concentração do micronutriente mais 5 gramas de sal por dia, ultrapassando a necessidade média estimada para estes grupos (IOM, 2001). Por outro lado, se considerássemos o consumo de 12 gramas de sal por dia mais o consumo de água potável, as gestantes e nutrizes de Pinhais apresentariam uma ingestão diária de iodo de 509,3 µg e 549,1 µg, respectivamente, representando uma ingestão excessiva e sendo quase 3,2 e 2,8 vezes superior à necessidade média estimada do micronutriente, respectivamente.

Diante do exposto, a concentração de iodo na água de consumo deve ser levada em consideração na avaliação do estado nutricional do micronutriente na população, pois a mesma, dependendo da localidade pode

contribuir para ingestão excessiva do mineral nos diferentes grupos fisiológicos e provocar alterações no estado de saúde da população.

Conclusão

As concentrações de iodo nas amostras de água apresentaram contribuições discrepantes na ingestão do micronutriente e em alguns locais poderiam contribuir para uma ingestão excessiva nos diferentes grupos fisiológicos. Sendo assim, sugere-se monitorar a concentração de iodo na água de consumo dos diferentes locais como forma de estabelecer estratégias específicas para cada local e grupo fisiológico a fim de evitar a ingestão excessiva e conseqüentemente alterações no funcionamento da glândula tireoide que possa impactar no estado de saúde da população.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Financiamento

Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processos 408295/2017-1 e 439075/2018-1 e, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) processo APQ-03336-18.

Referências

BOURNAUD, C.; ORGIAZZI, J. J. Iodine excess and thyroid autoimmunity. **Journal Endocrinological Investigation**, v. 26, p.49-56, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação - Geral da Política de Alimentação e Nutrição. **Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável**. Ministério da Saúde, 2006. 210p.

BRASIL. Ministério da Saúde. UNICEF. **Cadernos de Atenção Básica: Carência de Micronutrientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009**: Análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. Rio de Janeiro; 2011.

INSTITUTE OF MEDICINE – IOM. **Dietary reference intakes for water, potassium, sodium chloride, and sulfate**. National Academy Press, 2004. 617p.

INSTITUTE OF MEDICINE – IOM. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, copper, iodine, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc**. National Academy Press, 2001. 769p.

LEUNG, A. M.; BRAVERMAN, L. E.; PEARCE, E. N. History of U.S. iodine fortification and supplementation. **Nutrients**, v.4, n. 11, p. 1740-1746, 2012.

LI, M. *et al.* Endemic goiter in Central China caused by excessive iodine intake. **Lancet**, v. 2, p. 257-259, 1987.

LI, Y. *et al.* Antithyroid peroxidase and antithyroglobulin antibodies in a five-year follow-up survey of population with different iodine intakes. **Journal of Clinical Endocrinology Metabolism**, v. 93, n.5, p.1751–1757, 2008.

LIU H. *et al.* Effect of drinking water with high iodine concentration on the intelligence of children in Tianjin, China. **Journal Public Health** v.31, n. 1, p.32–38, 2009.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. **Delimitation for the endemic areas of iodine deficiency disorders**. Standardization Administration of China. 2009.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. **Determination and classification of the areas of high water iodine and the endemic areas of iodine excess goiter**. National Standard of the People's Republic of China. Standardization Administration of China. 2003.

SARAIVA, D. A. *et al.* Iodine status of pregnant women from a coastal Brazilian state after the reduction in recommended iodine concentration in table salt according to governmental requirements. **Nutrition**, v. 53, p.109-114, 2018.

SANTOS, I. S.; CESAR, J. A. Pesquisa Nacional para Avaliação do Impacto da Iodação do Sal (PNAISAL). 2016. 31p.

SHEN, H. *et al.* Geographical distribution of drinking-water with high iodine level and association between high iodine level in drinking-water and goitre: a Chinese national investigation. **British Journal of Nutrition**, v. 106, p. 243-247, 2011.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA; AWWA; WPCF. 21st edition; 2005. Disponível em: <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2020.

TENG, W. P. *et al.* Effect of iodine intake on thyroid diseases in China. **The New England Journal of Medicine**, v. 354, p. 2783-2793, 2006.

YU, Z. *et al.* Progress in endemic iodine excess goiter (2). **China Journal Endemiology**, v. 18, 385–387, 1999.

ZHAO, I.; CHEN, Z.; MABERLY, G. Iodine-rich drinking water of natural origin in China. **Lancet**, v. 352, p. 2024-2025, 1998.

ZHAO, J. K. *et al.* Endemic goiter associated with high iodine. **American Journal Public of Health**, v. 90, p. 1633-1635, 2000.

ZHAO, H. Q. *et al.* Correlation between iodine intake and thyroid disorders: A cross-sectional study from the South of China. **Biological Trace Element Research**, v. 162, p. 87-94, 2014.

5. 2. 2. Concentração de iodo na água distribuída para abastecimento e consumida pela população de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

Autores: Carina Aparecida Pinto, Dayane de Castro Moraes, Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Sandra Patricia Crispim, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro, Sylvia do Carmo Castro Franceschini, Silvia Eloiza Priore.

Resumo: Objetivo: Avaliar a concentração de iodo na água distribuída para abastecimento e consumida pela população de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais - Brasil. Método: Coletou-se amostras de água de abastecimento distribuídas à população, ou seja, nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e nos poços que abastecem a cidade; bem como a água consumida pela população, sendo esta, coletada nas Unidades Básicas de Saúde (UBS) de um município da Zona da Mata Mineira. As amostras foram coletadas em dois momentos, sendo uma na estação verão e a outra no outono. Utilizou-se o método espectrofotométrico “leuco cristal violeta” para determinar a concentração de iodo na água, sendo o teor deste mineral expresso em μg de $\text{Iodo}\cdot\text{L}^{-1}$. Realizou-se estatística descritiva e teste de *Mann-Whitney* para verificar se houve diferença na concentração de iodo na água de consumo entre as estações verão e outono no programa estatístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 21.0 e adotou-se nível de significância menor que 0,05. Resultados: Observou-se diminuição na concentração de iodo entre a água bruta e a tratada das duas ETA nas duas coletas. No entanto, nos poços observou-se o oposto, com aumento na concentração do mineral na água tratada. Em relação a água disponível para consumo nas diferentes UBS, verificou-se que 64,3% (n=9) apresentaram baixa concentração de iodo. Verificou-se valor absoluto menor da concentração do mineral na estação verão. Conclusão: Observou-se redução na concentração de iodo entre a água bruta e a tratada que sai das ETA. Além disso, verificou-se variação na concentração do mineral entre as unidades de abastecimento e as unidades de consumo. Importante, destacar que o consumo de iodo pela água deve ser considerado na avaliação do estado

nutricional do mineral, pois a mesma pode apresentar contribuição relevante na ingestão do micronutriente.

Palavras chave: iodo, água bruta, água potável, abastecimento de água, consumo de água.

Introdução

O iodo é um micronutriente indispensável para a saúde, pela sua função na síntese dos hormônios tireoidianos, os quais são fundamentais para o desenvolvimento de órgãos; para o crescimento das crianças e para regular funções importantes como a frequência cardíaca e a temperatura corporal (BRASIL, 2007; LIMA; NAVARRO, 2018). A ingestão insuficiente de iodo está associada aos distúrbios por deficiência de iodo, tendo como manifestação clínica o bócio e o cretinismo; sendo este a forma mais grave e irreversível da doença (BRASIL, 2007; WHO, 2007).

A ingestão excessiva deste micronutriente tem sido associada ao desenvolvimento de bócio, hipotireoidismo e hipertireoidismo. Dentre as consequências do excesso inclui-se o hipertireoidismo induzido por iodo, que em alguns casos pode levar à morte por complicações cardíacas (DUNN; SEMIGRAN; DELANGE, 1998; ZHAO *et al.*, 2000; ZIMMERMANN; JOOSTE; PANDAV, 2008).

O iodo está presente na água, em diferentes concentrações, sendo que as águas subterrâneas apresentam maiores concentrações do mineral em comparação com as superficiais (FUGE; JOHNSON, 2015).

Estudos conduzidos em províncias da China relataram concentrações elevadas de iodo nas águas subterrâneas, chegando até 4.117 µg/L na província de Shanxi (ZHAO; CHEN; MABERLY, 1998; ZHAO *et al.*, 2000; ANDERSEN *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2011, TANG *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2013). As altas concentrações de iodo na água subterrânea foram associadas ao desenvolvimento de bócio e hipotireoidismo na população local (ANDERSEN *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2011).

Em relação à concentração de iodo na água para consumo (água potável), esta pode variar de 0,1 a 150 µg/L (JOHNSON, 2003). No que se refere a concentração do mineral antes e após o tratamento da água, Pichel e

Vivar observaram diferenças nas concentrações de iodo entre os locais que recebiam água tratada e aqueles que recebiam água tratada e bruta (água não tratada). Segundo estes autores, as maiores concentrações de iodo foram observadas na água bruta proveniente dos poços de água subterrânea, no entanto, após o tratamento, os teores de iodo foram reduzidos em mais de 50% (PICHEL; VIVAR, 2017).

Tendo em vista a importância que o iodo possui na saúde da população e as implicações de sua deficiência ou excesso, torna-se necessário a quantificação deste micronutriente nas diversas fontes de água (seja ela bruta ou tratada), uma vez que nenhum estudo brasileiro não se propôs a fazê-lo.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a concentração de iodo na água distribuída para abastecimento e consumida pela população de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

Metodologia

As amostras da água distribuída para abastecimento da população foram coletadas nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e nos poços de água subterrânea e a para consumo, em todas as Unidades Básicas de Saúde (UBS) de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

O município conta com duas ETA (ETA I e ETA II), três poços e 14 UBS. A ETA I abastece as UBS de três bairros, enquanto a ETA II, oito bairros. Os poços, três bairros, sendo um poço localizado em cada uma das localidades (Figura 1).



Figura 1 - Estações de Tratamento de Água (ETA) e poços de água subterrânea que abastecem as Unidades Básicas de Saúde (UBS) de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

As coletas das amostras de água ocorreram em 2021 na estação verão (março) e outono (maio). Optou-se pelas coletas em duas estações do ano distintas, pois no local do estudo a estação verão é caracterizada por temperaturas elevadas e aumento dos índices pluviométricos, enquanto o outono apresenta diminuição gradativa das temperaturas e do regime de chuvas. Estas características podem influenciar na concentração dos compostos na água.

Nas ETA e nos poços ocorreu a coleta das amostras antes (água bruta) e após o tratamento da água (água tratada). A coleta das amostras de água nas UBS aconteceu no mesmo dia da coleta na ETA ou no poço que abastece a respectiva UBS.

A coleta das amostras seguiu o protocolo do “Manual prático de análise de água” (BRASIL, 2013). As amostras foram transportadas em caixa térmica e levadas para análise no laboratório de pesquisa de Química e Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa.

A metodologia utilizada para determinar a concentração de iodo na água foi baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 4500-I B, método espectrofotométrico “leuco cristal violeta”. A análise de cada amostra de água foi realizada em triplicata sendo obtida a concentração média de iodo e expressa em μg de $\text{Iodo}\cdot\text{L}^{-1}$ (S.M.E.W.W, 2005).

Para avaliar a concentração de iodo na água tratada utilizou-se como referência a legislação chinesa que estabelece como pontos de corte: $< 10 \mu\text{g/L}$ (água com baixa concentração de iodo); 10 a $150 \mu\text{g/L}$ (água com concentração adequada de iodo); $> 150 \mu\text{g/L}$ (água com alta concentração de iodo) e $> 300 \mu\text{g/L}$ (água com excesso de iodo) (MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2003; MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2009).

A análise descritiva dos dados ocorreu no programa *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 21.0 e o nível de significância adotado foi $p < 0,05$.

Para verificar se houve diferença na concentração de iodo na água para consumo nas UBS entre as estações verão e outono trabalhou-se com o teste de *Mann-Whitney*.

Resultados

Tanto na ETA I quanto na ETA II observou-se redução na concentração de iodo entre a água bruta e a tratada nas duas coletas (estação verão e outono). Já nos poços, nas duas coletas, observou-se aumento da concentração de iodo entre a água bruta e a que sai do poço (água tratada) (Tabela 1).

Tabela 1 - Concentração média de iodo nas amostras de água coletadas na entrada (água bruta) e saída (água tratada) das Estações de Tratamento de Água (ETA) e dos poços de água subterrânea de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

Unidades de abastecimento de água	Concentração média de iodo ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)			
	Coleta 1		Coleta 2	
	Entrada/Água bruta	Saída/Água tratada	Entrada/Água bruta	Saída/Água tratada
ETA I	11,51	10,10	32,74	5,25
ETA II	12,92	0,00	108,71	102,25
Poço 1	0,00	0,21	0,00	6,06
Poço 2	0,00	12,22	0,00	10,10
Poço 3	NC	NC	NC	10,91

Coleta 1: amostras coletadas na estação verão. Coleta 2: amostras coletadas na estação outono. NC: Não Coletada.

As UBS 01, 02 e 03, que são abastecidas pela ETA I, apresentaram concentração menor de iodo, nas duas coletas, em relação aos valores verificados na água tratada que sai desta estação de tratamento (Tabela 2).

Nas UBS que são abastecidas pela ETA II observou-se comportamento diferente entre as coletas de água. Na coleta 1, as UBS 05, 08 e 09 apresentaram a mesma concentração de iodo da água que sai de sua respectiva ETA. As UBS 06, 07, 10 e 11 apresentaram concentração maior de iodo na água em comparação com a concentração do mineral que sai da ETA II. Já na coleta 2, todas as UBS apresentaram concentração menor de iodo em comparação com a concentração do mineral que sai da água da ETA II (Tabela 2).

No poço 1, que abastece a UBS 12, observou-se comportamento diferente entre as coletas. Na coleta 1 verificou-se aumento na concentração de iodo entre a água tratada que sai do poço e a que está disponível para consumo nesta UBS. Por outro lado, na coleta 2 observou-se o contrário, com diminuição na concentração de iodo entre a água tratada que sai do poço e a que chega na UBS 12 (Tabela 2).

No poço 2 e na UBS 13 observou-se comportamento semelhante entre as coletas 1 e 2, ocorrendo redução na concentração de iodo entre a água tratada que sai do poço e a que está disponível para consumo na UBS 13 (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração média de iodo nas amostras de água para consumo em diferentes Unidades Básicas de Saúde (UBS) abastecidas por Estações de Tratamento de Água (ETA) e poços de água subterrânea de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

Unidades de abastecimento de água	Concentração média de iodo nas ETA ou poços ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)*		Unidades Básicas de Saúde (UBS)	Concentração média de iodo nas UBS ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)**	
	Coleta 1	Coleta 2		Coleta 1	Coleta 2
ETA I	10,10	5,25	UBS 01	5,16	1,21
			UBS 02	0,00	0,00
			UBS 03	0,92	0,00
ETA II	0,00	102,25	UBS 04	NC	NC
			UBS 05	0,00	59,41
			UBS 06	10,81	60,22
			UBS 07	41,17	87,70
			UBS 08	0,00	18,19
			UBS 09	0,00	6,06
			UBS 10	6,57	50,52
			UBS 11	5,16	10,10
Poço 1	0,21	6,06	UBS 12	2,33	2,83
Poço 2	12,22	10,10	UBS 13	0,21	3,64
Poço 3	NC	10,91	UBS 14	0,00	0,00

*Concentração média de iodo na água tratada da ETA ou poço. **Concentração média de iodo na água de consumo na UBS.

Coleta 1: amostras coletadas na estação verão. Coleta 2: amostras coletadas na estação outono. NC: Não Coletada.

A ETA I apresentou baixa concentração de iodo na água tratada e todas as UBS que são abastecidas por esta ETA também apresentaram o mesmo comportamento, considerando a classificação da legislação chinesa (Tabela 3).

A ETA II apresentou concentração adequada de iodo na água tratada, porém 42,9% (n=3) das UBS que são abastecidas por esta estação de tratamento apresentaram baixa concentração do mineral na água (Tabela 3).

Os poços 2 e 3 apresentaram concentração adequada de iodo na água tratada, no entanto, as UBS 13 e 14, que recebem água destes poços, respectivamente, apresentaram baixa concentração do mineral (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação da concentração de iodo na água tratada das Estações de Tratamento de Água (ETA), poços de água subterrânea e Unidades Básicas de Saúde (UBS) de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais – Brasil.

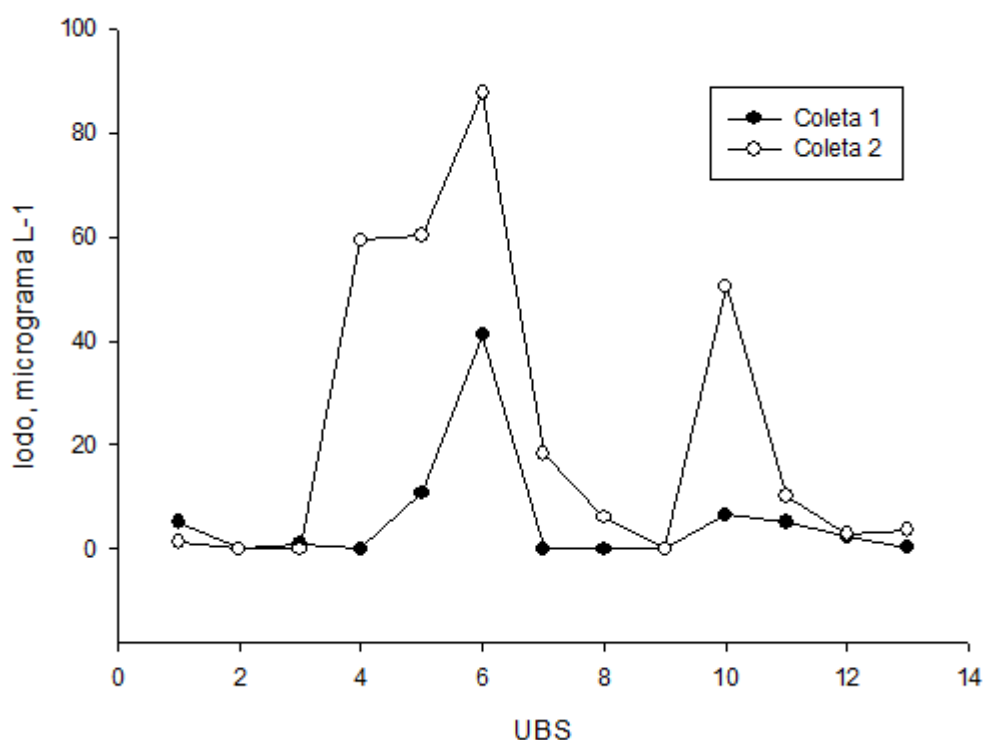
Unidades de abastecimento de água	Concentração média de iodo ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)*	Classificação da concentração de iodo**	Unidades Básicas de Saúde	Concentração média de iodo ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)*	Classificação da concentração de iodo**
ETA I	7,68	Baixa	UBS 01	3,19	Baixa
			UBS 02	0,00	Baixa
			UBS 03	0,46	Baixa
ETA II	51,13	Adequada	UBS 05	29,71	Adequada
			UBS 06	35,52	Adequada
			UBS 07	64,44	Adequada
			UBS 08	9,09	Baixa
			UBS 09	3,03	Baixa
			UBS 10	28,55	Adequada
Poço 1	3,14	Baixa	UBS 11	7,63	Baixa
Poço 2	11,16	Adequada	UBS 12	2,58	Baixa
Poço 3	10,91	Adequada	UBS 13	1,93	Baixa
			UBS 14	0,00	Baixa

Fonte: MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2003; MINISTRY OF HEALTH OF CHINA, 2009.

*Concentração média de iodo obtida pela soma da concentração das coletas 1 e 2.

**Classificação da concentração de iodo: < 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ (água com baixa concentração de iodo); 10 – 150 $\mu\text{g}/\text{L}$ (água com concentração adequada de iodo); > 150 $\mu\text{g}/\text{L}$ (água com alta concentração de iodo) e > 300 $\mu\text{g}/\text{L}$ (água com excesso de iodo).

Na figura 2 observa-se, nas duas coletas, variação na concentração de iodo na água para consumo, nas diferentes UBS do município. Destaca-se que a concentração de iodo na água das diferentes UBS da coleta 1 (estação verão) ficou abaixo da concentração do mineral na coleta 2 (estação outono).



Coleta 1: amostras coletadas na estação verão. Coleta 2: amostras coletadas na estação outono.

Figura 2 - Variação da concentração de iodo em amostras de água coletadas em 13 Unidades Básicas de Saúde de um município da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, em dois momentos diferentes.

A concentração mediana de iodo nas UBS foi de $0,92 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (0,00-41,17) na coleta 1 e de $6,06 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (0,00-87,70) na coleta 2, porém sem diferença estatística entre elas ($p>0,05$).

Discussão

A concentração de iodo nas amostras de água coletadas nas diferentes fontes de abastecimento (ETA e poços) e de consumo (UBS) caracterizou-se pela não uniformidade no município. Além disso, observou-se redução na concentração de iodo entre a água bruta e a tratada; bem como, alteração na concentração do mineral na água de consumo avaliada nas UBS e suas respectivas ETA.

A coleta das amostras de água nas UBS em dois momentos distintos, sendo um referente a estação verão (coleta 1) e outro no outono (coleta 2), demonstrou que a concentração mediana de iodo no verão foi inferior ao outono. Isso pode ter acontecido, porque na estação verão ocorre aumento do nível de água nos reservatórios (ETA e poços), devido às chuvas, implicando na diluição do mineral e sua menor concentração nas amostras de água. No outono, caracterizado por um período “de secas”, tem-se um menor índice pluviométrico e diminuição do nível de água nos reservatórios, podendo levar a um aumento da concentração do mineral nas amostras de água.

Este comportamento da concentração de iodo na água das UBS entre o verão e o outono, também se observou nas ETA 1 e 2, porque em ambas estações de tratamento de água a concentração do mineral na água bruta foi maior na estação outono.

Além da estação do ano, outros fatores podem contribuir para as altas concentração de iodo na água, entre eles a topografia, características geomorfológicas e estruturas do aquífero da área (TANG *et al.*, 2013) e a decomposição da matéria orgânica (ZHANG *et al.*, 2013).

Em relação as estações de tratamento, observou-se em ambas as coletas, redução na concentração de iodo entre a água bruta e a tratada, sendo esta redução superior a 80,0%, chegando a 100,0% na ETA II durante a coleta 1. Este resultado corrobora com o estudo de Pichel e Vivar (2017), pois segundo estes autores ocorre redução de mais de 50% nos teores de iodo na água após o tratamento. Vale destacar que apesar das ETA serem supridas por dois mananciais distintos, estas passam por processos iguais no tratamento de água envolvendo as etapas de pré-alkalinização (hidróxido de cálcio), coagulação, floculação, decantação, filtração, adição de complexante (ortopolifosfato), desinfecção (hipoclorito de sódio), fluoretação (ácido fluossilícico) e ajuste de pH (hidróxido de cálcio) (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO, 2021).

Observou-se alteração na concentração de iodo da água tratada que sai de cada uma das ETA e a de consumo nas respectivas UBS. No caso da ETA I, em ambas as coletas, a água para consumo chegou nas UBS com concentração menor de iodo.

Na ETA II, na coleta 1, a água saiu da unidade de abastecimento sem iodo e chegou em quatro UBS (06, 07, 10 e 11) com concentração maior do mineral. Neste caso é possível inferir que pode ter ocorrido algum tipo de contaminação com iodo durante este percurso, sendo necessário realizar uma investigação para determinar a possível causa.

Nos poços, em ambas as coletas, observou-se aumento da concentração de iodo entre a água bruta e a tratada, não sendo possível inferir qual fator possa ter contribuído para este aumento na concentração do mineral, sendo necessário mais investigações. A água tratada que saiu dos poços e chegou nas suas respectivas UBS apresentou menor concentração de iodo. Durante o trajeto da água tratada até a UBS pode ter acontecido a evaporação de iodo, já que o mesmo é volátil à temperatura ambiente quando se encontra na forma de iodo elementar (LIMA; NAVARRO, 2018).

De acordo com a classificação da concentração de iodo na água potável (ou tratada), proposta pelo Ministério da Saúde da China (2003; 2009), nenhuma das amostras de água disponível para consumo nas UBS apresentou alta concentração ou excesso de iodo. Entretanto, se pensarmos na ingestão hídrica recomendada para cada grupo etário, de acordo com o sexo e idade, a água das UBS 05, 06, 07 e 10 (classificadas como adequadas) poderiam apresentar contribuição importante na ingestão do mineral naqueles indivíduos que a consomem, pois, a água das UBS é a mesma consumida no domicílio.

Assim, considerando um criança de oito anos do sexo feminino, por exemplo, e se ela ingerisse 1 litro e 700 mililitros de água (recomendação de ingestão hídrica segundo o Instituto de Medicina, 2004) da UBS 10 (concentração média de iodo igual a 28,55 µg/L), ela apresentaria uma ingestão diária de iodo a partir da água de consumo de 48,5 µg/L, contribuindo com cerca de 75,0% da necessidade média estimada do micronutriente para este grupo etário (a necessidade média estimada para este grupo é de 65 µg/dia) (IOM, 2001).

Por outro lado, se considerássemos um adolescente do sexo feminino, por exemplo, com ingestão de 2 litros e 300 mililitros de água (recomendação de ingestão hídrica segundo o Instituto de Medicina, 2004) da UBS 10 (concentração média de iodo igual a 28,55 µg/L), ela apresentaria uma ingestão diária de iodo a partir da água de consumo de 65,7 µg/L, contribuindo

com 69,2% da necessidade média estimada do micronutriente para este grupo etário (a necessidade média estimada para este grupo é de 95 µg/dia) (IOM, 2001).

Se considerássemos um indivíduo adulto e um idoso, ambos do sexo masculino, por exemplo, com ingestão de 3 litros e 700 mililitros de água (recomendação de ingestão hídrica para ambos os grupos etários, segundo o Instituto de Medicina, 2004) da UBS 05 (concentração média de iodo igual a 29,71 µg/L), eles apresentariam uma ingestão diária de iodo a partir da água de consumo de 109,9 µg/L, contribuindo com 115,7% da necessidade média estimada do micronutriente para estes grupos etários (a necessidade média estimada para estes grupos é de 95 µg/dia), ultrapassando suas respectivas necessidades nutricionais (IOM, 2001); mas sem ainda representar risco de efeito adverso à saúde destes indivíduos, visto que o Nível de Ingestão Máxima Tolerável (UL) de iodo para estes dois grupos etários é de 1.100 µg/dia (IOM, 2001).

Se considerássemos uma gestante com ingestão de 3 litros de água (recomendação de ingestão hídrica segundo o Instituto de Medicina, 2004) da UBS 06 (concentração média de iodo igual a 35,52 µg/L), ela apresentaria uma ingestão diária de iodo a partir da água de consumo de 106,6 µg/L, contribuindo com 66,6% da necessidade média estimada do micronutriente para este grupo etário (a necessidade média estimada para este grupo é de 160 µg/dia) (IOM, 2001).

Por outro lado, se considerássemos uma nutriz com ingestão de 3 litros e 800 mililitros de água (recomendação de ingestão hídrica segundo o Instituto de Medicina, 2004) da UBS 07 (concentração média de iodo igual a 64,44 µg/L), ela apresentaria uma ingestão diária de iodo a partir da água de consumo de 244,9 µg/L, contribuindo com 122,5% da sua necessidade média estimada do micronutriente (a necessidade média estimada para este grupo é de 200 µg/dia), ultrapassando sua necessidade média nutricional, porém sem risco de apresentar efeito adverso a saúde porque a UL de iodo é de 1.100 µg/dia (IOM, 2001).

Embora, a água disponível para consumo em algumas UBS apresentasse concentração de iodo dentro das recomendações do Ministério da Saúde da China, a mesma poderia apresentar contribuição importante na

ingestão do micronutriente, considerando as recomendações para cada faixa etária e sexo e de ingestão hídrica. Dessa maneira, torna-se fundamental realizar a avaliação e o monitoramento da concentração de iodo na água das unidades de abastecimento e na de consumo.

Conclusão

O tratamento de água nas ETA reduziu a concentração de iodo entre a água bruta e a tratada, porém observou-se o oposto nos poços de água subterrânea. Além disso, verificou-se discrepância nos valores da concentração do mineral entre as unidades de abastecimento (ETA e poços) e as unidades de consumo (UBS).

Ressalta-se que o consumo de iodo pela água muitas vezes não é considerado na avaliação do estado nutricional do mineral, no entanto, a mesma pode apresentar contribuição importante na ingestão do micronutriente, chegando a ultrapassar a necessidade nutricional do indivíduo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Financiamento

Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processos 408295/2017-1 e 439075/2018-1 e, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) processo APQ-03336-18.

Referências

ANDERSEN, S. *et al.* Speciation of iodine in high iodine groundwater in China associated with goitre and hypothyroidism. **Biological Trace Element Research**, v. 128, p. 95-103, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. UNICEF. **Cadernos de Atenção Básica: Carência de Micronutrientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60p.

DUNN, J. T.; SEMIGRAN, M. J.; DELANGE, F. The prevention and management of iodine-induced hyperthyroidism and its cardiac features. **Thyroid**, v. 8, n. 1, p. 101-106, 1998.

FUGE, R.; JOHNSON, C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. **Applied Geochemistry**, v. 63, p. 282-302, 2015.

INSTITUTE OF MEDICINE – IOM. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, copper, iodine, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc**. National Academy Press, 2001. 769p.

INSTITUTE OF MEDICINE – IOM. **Dietary reference intakes for water, potassium, sodium chloride, and sulfate**. National Academy Press, 2004. 617p.

JOHNSON, C.C. **The geochemistry of iodine and its application to environmental strategies for reducing the risks from iodine deficiency disorders**. British Geological Survey Commissioned Report, 2003. 54 p.

LIMA, L. F.; NAVARRO, A. M. **Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes – Iodo/ISLI Brasil**. Série de Publicações ISLI Brasil: Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes, Força – Tarefa de Alimentos Fortificados e Suplementos, v. 22, p. 1-33, 2018.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. **Delimitation for the endemic areas of iodine deficiency disorders**. Standardization Administration of China. 2009.

MINISTRY OF HEALTH OF CHINA. **Determination and classification of the areas of high water iodine and the endemic areas of iodine excess goiter**. National Standard of the People's Republic of China. Standardization Administration of China. 2003.

PICHEL, N.; VIVAR, M. A critical review on iodine presence in drinking water access at the Saharawi refugee camps (Tindouf, Algeria). **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 42, p. 32-38, 2017.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. **ETAS: Sistema de abastecimento de água**. 2021. Disponível em: <<http://www.saaevicosa.mg.gov.br/servicos/agua/etas>>. Acesso em: 08 out. 2021.

SHEN, H. *et al.* Geographical distribution of drinking-water with high iodine level and association between high iodine level in drinking-water and goitre: a

Chinese national investigation. **British Journal of Nutrition**, v. 106, p. 243-247, 2011.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA; AWWA; WPCF. 21st edition; 2005. Disponível em: <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf>. Acesso em: 03 set. 2021.

TANG, Q. *et al.* Geochemistry of iodine-rich groundwater in the Taiyuan Basin of central Shanxi Province, North China. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 135, p. 117-123, 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND/INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE CONTROL OF IODINE DEFICIENCY DISORDERS. **Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers: a guide for programme managers**. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2007. 108p.

ZHANG, E. *et al.* Iodine in groundwater of the North China Plain: Spatial patterns and hydrogeochemical processes of enrichment. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 135, p. 40-53, 2013.

ZHAO, I.; CHEN, Z.; MABERLY, G. Iodine-rich drinking water of natural origin in China. **Lancet**, v. 352, p. 2024-2025, 1998.

ZHAO, J. K. *et al.* Endemic goiter associated with high iodine intake. **American Journal Public of Health**, v. 90, p. 1633-1635, 2000.

ZIMMERMANN, M. B.; JOOSTE, P. L.; PANDAV, C. S. Iodine-deficiency disorders. **Lancet**, v. 372, p. 1251-1262, 2008.

5. 2. 3. Iodine concentration in drinking water in the same or different seasons of the year in Brazilian macro-regions.

Authors: Carina Aparecida Pinto, Dayane de Castro Moraes, Sylvia do Carmo Castro Franceschini, Sarah Aparecida Vieira Ribeiro, Edimar Aparecida Filomeno Fontes, Nathalia Pizato, Franciane Rocha de Faria, Renata Junqueira Pereira, Danielle Goés da Silva, Carolina Abreu de Carvalho, Naiara Sperandio, Anderson Marliere Navarro, Sandra Patricia Crispim, Mariana de Souza Macedo, Silvia Eloiza Priore.

Artigo aceito para publicação no Journal of Nutrition and Metabolism no dia 08 de julho de 2022 (ANEXO B).

Abstract: Objective: compare the concentration of iodine in drinking water in the same or different seasons of the year in Brazilian macro-regions. Method: Water samples were collected in the Basic Health Units of eight municipalities that make up the different Brazilian macro-regions and the Federal District. Sample collection took place in the summer, autumn, winter, and spring seasons. The spectrophotometric method "leuco cristal violet" was used to determine the concentration of iodine in the water. Descriptive statistics on the data were performed. To verify if there was a difference in the concentration of iodine in the water between the climatic seasons of the year in the same place and between the same seasons in different locations, the Mann-Whitney or Kruskal-Wallis test was used and a $p < 0,05$ value was considered significant. Results: Among the climatic seasons throughout the year in the same location, there was a difference in the concentration of iodine in the water in the municipality of Pinhais, state of Paraná/South macroregion; between autumn and summer ($p = 0.041$) and winter and summer seasons ($p = 0.003$). There was a difference in the concentration of iodine in the water in the summer season between the Midwest and South macro-regions; Northeast and Midwest, Southeast and South; North and Midwest, Southeast and South ($p < 0,05$). In the autumn season, there was a difference in the concentration of iodine in the water between the Midwest and South macro-regions; Northeast and Midwest, Southeast and South; North and Midwest, Northeast and South ($p < 0,05$). In the winter season, there was a difference in the concentration of

iodine in the water between the Southeast and Midwest and Southeast and South macro-regions ($p < 0,05$). In the spring season, there was a difference in the concentration of iodine in the water between the Southeast and Midwest and Southeast and South macroregions ($p < 0,05$). Conclusion: There were differences in the iodine concentrations in drinking water in different locations in Brazil, when analyzed in the same seasons, and in the municipality of Pinhais between the autumn and summer and winter and summer seasons. Thus, it is suggested to monitor the iodine concentrations in water, considering the differences in climate, characteristics of each region and soils throughout the Brazilian territory, since the deficiency or excess of iodine can bring risks to the health of the population.

Keywords: iodine, drinking water, seasons, Brazil.

Introduction

Iodine is an indispensable nutrient for the synthesis of the thyroid hormones, triiodothyronine and thyroxine, necessary for normal growth, development, and metabolism during pregnancy, childhood, and throughout life [1, 2, 3].

Deficiency or excess of iodine in the body is responsible for health problems such as hypothyroidism, hypothyroxinemia, goiter, cretinism, decreased fertility, increased prenatal and infant mortality, hyperthyroidism, thyroiditis, and autoimmune thyroid diseases [1, 4, 5].

Iodine is present in water in concentrations that vary according to the mineral content in the soils of the region [6]. In turn, the iodine content in the soil can vary within and between regions due to several factors, including differences that occurred during geological formation, soil types, climatic conditions, distance from the sea, flooding, soil erosion, and application of fertilizers [6, 7].

Regarding climatic conditions, these are decisive for the definition of the seasons in summer, autumn, winter and spring. Each climatic season presents peculiar and defined characteristics. However, the seasons of the year do not occur homogeneously in the five macro-regions (Central West, Northeast, North, Southeast, and South) that are part of the entire Brazilian territory [8].

The states of Paraná, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul (South macro-region); São Paulo, Minas Gerais, and Rio de Janeiro (Southeast macro-region); and Mato Grosso do Sul (one of the states that are part of the Center-West macro-region) have the most well-defined climatic seasons during the year. In the other Brazilian macro-regions (mainly Northeast and North), there are basically two well-defined seasons: one hot and humid, the other hot and dry [8], depending on the volume and frequency of precipitation in these locations.

Thus, considering that each location in each Brazilian macro-region has seasons with specific characteristics, this study proposes to compare the concentration of iodine in drinking water in the same or different climatic seasons of the year in Brazilian macro-regions.

Materials and Methods

This study is part of the project called "Nutritional Status of Iodine, Sodium, and Potassium in the Brazilian Maternal-Infant Group: a Multicenter Study," which was approved by the Ethics Committee in Research with Human Beings of the Federal University of Viçosa with opinion number 2,496,986.

Water samples were collected at the Basic Health Units of eight municipalities and the Federal District, covering the five Brazilian macro-regions (Midwest, Northeast, North, Southeast and South). Sample collection took place in the summer seasons (from 12/21/2018 to 03/19/2019), autumn (from 03/20/2019 to 06/19/2019), winter (from 06/20/2019 to 21/09/2019) and spring (from 22/09/2019 to 20/12/2019).

The number of water samples collected in each location and in each season of the year are shown in table 1.

Table 1 - Location, macro-region and number of water samples collected by climate station – Brazil.

Locality/Brazilian macro-region	Number of water samples per season			
	Summer	Autumn	Winter	Spring
Brasília - DF/ Midwest ¹	10	10	10	-
Rondonópolis/ Midwest	12	12	12	12
Aracaju/ Northeast ¹	12	12	-	12
São Luís/ Northeast ¹	12	12	-	-
Palmas/North ¹	10	10	-	-
Macaé/ Southeast ¹	9	-	-	-
Ribeirão Preto/ Southeast ¹	-	-	9	9
Viçosa/ Southeast	14	14	14	14
Pinhais/South	11	11	11	11

¹ No water samples were collected in all seasons at these locations.

DF = Federal District.

The water samples were collected by the team from each location and stored in freezers (-18°C) in each respective research center in each macro-region and later sent to the accredited laboratory for the analysis. The samples were transported frozen in thermal boxes and, in the research laboratory of chemistry and food analysis of the Department of Food Technology at the Federal University of Viçosa, they were kept at a temperature of 4°C until the moment of analysis.

The spectrophotometric method "leuco cristal violet" was used to determine the concentration of iodine in drinking water. This method was based on *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 4500-IB [9].

The analysis was performed in triplicate of each sample, and the average concentration of iodine was obtained and expressed in g of iodineL⁻¹.

Data analysis was performed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 21.0. Descriptive statistics were performed, and the median, minimum, and maximum values were used to describe the concentration of iodine in the water.

To verify if there was a difference in the concentration of iodine in drinking water between the climatic seasons of the same location and between the same seasons in different locations, the Mann-Whitney or Kruskal-Wallis test was applied, according to the normality of the data, and a considered significant p-value 0.05 was found.

Results

No difference was observed in the concentration of iodine in drinking water between the climatic seasons in the municipalities of Aracaju (Sergipe State/Northeast Macroregion) ($p = 0.197$), Ribeiro Preto (São Paulo State/Southeast Macroregion) ($p = 0.208$), São Luís (State of Maranhão/Northeast Macroregion) ($p = 0.255$), Palmas (State of Tocantins/North Macroregion) ($p = 0.327$), Viçosa (State of Minas Gerais/Southeast Macroregion) ($p = 0.340$), Brasília (Federal District/Midwest Macroregion) ($p = 0.548$) and Rondonópolis (Mato Grosso State/Midwest Macroregion) ($p = 1.000$). It is noteworthy that this analysis was not carried out for the municipality of Macaé (State of Rio de Janeiro/Southeast Macroregion) due to the absence of water samples from all climatic seasons. There was a difference in the concentration of iodine in drinking water between the autumn and summer seasons ($p = 0.041$) and winter and summer ($p = 0.003$) in the municipality of Pinhais (State of Paraná/South Macroregion) (Table 2).

Table 2 - Comparison of iodine concentration in drinking water between climatic seasons in the same location.

Locality/Brazilian macro-region	Median iodine concentration ($\mu\text{g/L}$)			
	Weather Seasons			
	Summer	Autumn	Winter	Spring
Brasília - DF/ Midwest	4,43 ^a	3,81 ^a	4,92 ^a	-
Rondonópolis/ Midwest	2,33 ^a	0,00 ^a	3,04 ^a	3,04 ^a
Aracaju/Northeast	3,55 ^a	2,76 ^a	-	3,55 ^a
São Luís/Northeast	0,00 ^a	0,00 ^a	-	0,19 ^a
Palmas/North	0,41 ^b	0,00 ^b	-	-
Ribeirão Preto/Southeast	-	-	0,96 ^b	0,09 ^b
Viçosa/Southeast	3,33 ^a	2,49 ^a	1,64 ^a	3,75 ^a
Pinhais/South	13,04 ^a	5,45 ^c	4,60 ^c	7,98 ^a

^a Median followed by equal letters do not differ ($p > 0.05$) by the Kruskal-Wallis test.

^b Median followed by equal letters do not differ ($p > 0.05$) by the Mann-Whitney test.

^{a,c} Median followed by different letters differ ($p < 0.05$) by the Kruskal-Wallis test.

DF = Federal District.

In the summer season, the median concentration of iodine in water ranged from 0.00 $\mu\text{g/L}$ to 13.04 $\mu\text{g/L}$ among the different Brazilian locations (Square 1). We observed difference in water iodine concentration between:

Rondonópolis and Pinhais ($p=0.001$); São Luís and Pinhais ($p<0.0001$); São Luís and Brasília ($p=0.015$); São Luís and Viçosa ($p=0.030$); Palmas and Pinhais ($p<0.0001$); Palmas and Brasília ($p=0.016$); Palmas and Viçosa ($p=0.031$).

The median iodine concentration in water ranged from 0.00 $\mu\text{g/L}$ to 5.45 $\mu\text{g/L}$ in the fall season among the different Brazilian locations (Square 1). It was different between water from: Rondonópolis and Pinhais ($p=0.007$); Palmas and Pinhais ($p<0.0001$); Palmas and Brasília ($p=0.014$); Palmas and Aracaju ($p=0.044$); São Luís and Pinhais ($p<0.0001$); São Luís and Brasília ($p=0.002$); São Luís and Aracaju ($p=0.007$); São Luís and Viçosa ($p=0.029$).

In the winter season, the median concentration of iodine in water ranged from 0.96 $\mu\text{g/L}$ to 4.92 $\mu\text{g/L}$ and there were differences between Ribeirão Preto and Brasília ($p=0.011$); Ribeirão Preto and Rondonópolis ($p=0.006$); Ribeirão Preto and Pinhais ($p=0.002$) (Square 1).

The median iodine concentration in water ranged from 0.09 $\mu\text{g/L}$ to 7.98 $\mu\text{g/L}$ among the different Brazilian locations in the spring season (Square 1). It was different between water from Ribeirão Preto and Rondonópolis ($p=0.041$) and Ribeirão Preto and Pinhais ($p<0.001$).

Square 1 - Median, minimum and maximum concentration of iodine in water samples collected in Basic Health Units (UBS) during the different climatic seasons of the places belonging to the Brazilian macro-regions.

Climate Season	Median iodine concentration (Min - Max) ($\mu\text{g. L}^{-1}$)								
	Locations/Brazilian macro-regions								
	Midwest		Notheast		North	Southeast		South	
	Brasília	Rondonópolis	Aracaju	São Luís	Palmas	Macaé	Ribeirão Preto	Viçosa	Pinhais
Summer	4,43 (2,58 – 18,58)	2,33 (0,00 – 10,59)	3,55 (1,18 – 5,91)	0,00 (0,00 – 4,88)	0,41 (0,00 – 2,68)	3,85 (0,55 – 24,18)	-	3,33 (0,38 – 28,24)	13,04 (5,45 – 42,59)
Autumn	3,81 (2,58 – 6,28)	0,00 (0,00 – 113,86)	2,76 (1,18 – 5,91)	0,00 (0,00 – 1,93)	0,00 (0,00 – 2,68)	-	-	2,49 (0,38 – 12,20)	5,45 (2,91 – 11,35)
Winter	4,92 (2,39 – 6,37)	3,04 (1,30 – 109,14)	-	-	-	-	0,96 (0,09 – 2,70)	1,64 (0,38 – 10,51)	4,60 (2,91 – 20,64)
Spring	-	3,04 (1,30 – 13,48)	3,55 (1,18 – 8,28)	-	-	-	0,09 (0,00 – 4,45)	3,75 (0,38 – 17,26)	7,98 (2,91 – 20,64)

Discussion

Differences were observed in the concentration of iodine in the drinking water of the different locations, due to the fact that Brazil is a country of continental dimensions.

The concentration of iodine in drinking water showed different results between the climatic seasons in the municipality of Pinhais, located in the interior of the state of Paraná (South). In this location, a higher median concentration of iodine in the water was observed in the summer compared to the autumn and winter.

In the municipality of Pinhais, the month of January, which corresponds to the summer climatic season, is the wettest month with approximately 233 millimeters of precipitation, while the months of April and August, which correspond to the autumn and winter climatic seasons, respectively, have both 84 millimeters of precipitation [10, 11]. According to these characteristics, a lower median concentration of iodine in the water in the summer season was expected because a greater volume of precipitation causes an increase in the water level in the reservoirs, resulting in the dilution and lower concentration of the mineral in the water [12].

The concentration of iodine in drinking water also showed different results between the same climatic seasons in the different locations of the Brazilian macro-regions (Midwest, Northeast, North, Southeast, and South).

In the summer season, it was found that the drinking water of São Luís (Northeast Macroregion) had a lower median concentration of iodine in relation to Brasília (Central West Macroregion), Viçosa (Southeast Macroregion) and Pinhais (South Macroregion). In São Luís, the month of March, referring to the summer season, is the month with the highest precipitation with an average of 440 millimeters, a value well above the average of Brasília (217 millimeters), Viçosa (136 millimeters) and Pinhais forests (137 mm) for the same month. This greater volume of precipitation in São Luís contributes to the increase in the water level in the reservoirs, leading to dilution and consequently a lower concentration of the minerals in the water of this location [10, 12].

In the summer season, it was also observed that the drinking water of Palmas (Central West Macroregion) had a lower median concentration of iodine

in relation to Brasília (Central West Macroregion), Viçosa (Southeast Macroregion) and Pinhais (South Macroregion). The municipality of Palmas during the summer season has an average of 332 millimeters of rain, while Brasília, Viçosa, and Pinhais have an average of 216 millimeters, 158 millimeters, and 189 millimeters of rain, respectively. In addition, in Palmas, the average temperature (25.6 C) during the summer season is higher than in Brasília (22.1 C), Viçosa (22.6 C) and Pinhais (20.4 C) [10]. A greater volume of precipitation and high temperatures are factors that contribute to the lower concentration of iodine in the water because there is an increase in the level of water in the reservoirs, allowing the dilution of the mineral [12].

In the autumn season, it was found that the drinking water of São Luís (Northeast Macroregion) had a lower median concentration of iodine in relation to Brasília (Central West Macroregion), Aracaju (Northeast Macroregion), Viçosa (Southeast Macroregion) and Pinhais (South Macroregion). The higher volume of precipitation in São Luís during the autumn season, with an average of 291 millimeters, explains the lower concentration of iodine in the water at this location compared to Brasília (average of 44 millimeters of rain), Aracaju (average of 168 millimeters of rain), Viçosa (average of 40 millimeters of rain) and Pinhais (average of 95 millimeters of rain) [10].

In the autumn season, it was also observed that the drinking water of Palmas (Central West Macroregion) had a lower median concentration of iodine in relation to Brasília (Central West Macroregion), Aracaju (Northeast Macroregion) and Pinhais (South Macroregion). At Palmas we had a higher average temperature (26.5 C) during the autumn season compared to other locations (Brasília, Aracaju, and Pinhais), and this environmental factor may have contributed to the evaporation of iodine, since it is more volatile at room temperature [6, 10].

In the winter season, it was found that the drinking water of Ribeirão Preto (Southeast Macroregion) had a lower median concentration of iodine in relation to Brasília (Central West Macroregion), Rondonópolis (Central West Macroregion) and Pinhais (South Macroregion). High temperatures and a greater volume of precipitation contribute to reducing the concentration of iodine in the water [12]. However, in the municipality of Ribeirão Preto during the winter season, there was no high temperature (21.7 C) and a greater volume of

precipitation (38 mm) compared to other locations, so other factors may be interfering with the iodine concentration in the water [10].

In the spring season, it was observed that the drinking water of Ribeirão Preto (Southeast Macroregion) had a lower median concentration of iodine in relation to Rondonópolis (Central West Macroregion) and Pinhais (South Macroregion). As in the winter season, other factors may be contributing to the lower concentration of iodine in the water of Ribeirão Preto than in other places.

The strengths of this study are the analysis of iodine concentration in drinking water from different locations belonging to the five Brazilian macro-regions. In addition to this mapping of the iodine concentration in Brazilian drinking water, the influence of the climatic season on the concentration of iodine in the water between different places or in the same place was evaluated, highlighting the importance of considering this factor. As a limitation, it is mentioned the fact that it was not possible to collect samples of drinking water from all climatic seasons in some places.

In addition, the absence of studies carried out in the country, as well as the existing differences according to location and climatic factors, make comparison with other studies difficult.

Conclusion

Differences in iodine concentrations in the water were observed between the different locations of the Brazilian macro-regions in the climatic seasons. Therefore, it is suggested to monitor the concentration of iodine in the water considering the climatic seasons of the year as well as the characteristics of each region and soil types since the deficiency or excess of iodine can pose risks to the health of the population.

Funding statement

This study was funded by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) process 408295/2017-1 and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) process APQ-03336-18.

Acknowledgments

We thank Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the scholarship.

References

[1] WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND/INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE CONTROL OF IODINE DEFICIENCY DISORDERS. **Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers: a guide for programme managers**. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2007. 108p.

[2] ZIMMERMANN, M. B. Iodine deficiency. **Endocrine Reviews**, v. 30, n. 4, p. 376-408, 2009.

[3] MACHAMBA, A. A. L.; AZEVEDO, F. M.; FRACALOSSO, K. O.; FRANCESCHINI, S. C. C. Effect of iodine supplementation in pregnancy on neurocognitive on offspring in iodine deficiency areas: a systematic review. **Archives of Endocrinology and Metabolism**, v. 65, p. 352-367, 2021.

[4] BRASIL. Ministério da Saúde. UNICEF. **Cadernos de Atenção Básica: Carência de Micronutrientes**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60p.

[5] OPAZO, M. C.; CORONADO-ARRÁZOLA, I.; VALLEJOS, O. P.; MORENO-REYES, R.; FARDELLA, C.; MOSSO, L. et al. The impact of the micronutrient iodine in health and diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 23, p. 1-14, 2020.

[6] LIMA, L. F.; NAVARRO, A. M. **Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes – Iodo/ISLI Brasil**. Série de Publicações ISLI Brasil: Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes, Força – Tarefa de Alimentos Fortificados e Suplementos, v. 22, p. 1-33, 2018.

[7] ZIMMERMANN, M. B. Symposium on “Geographical and geological influences on nutrition”: iodine deficiency in industrialised countries. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, p. 133-143, 2010.

[8] SOUSA, R. Estações do ano. Brasil Escola, 2021. Available at: <<https://brasilestudo.uol.com.br/geografia/estacoes-ano.htm>>. Accessed on: Oct. 29, 2021.

[9] STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA; AWWA; WPCF. 21st edition; 2005. Available at:

<https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf>.
Accessed on: Sep 03, 2021.

[10] CLIMATE-DATA. Dados climáticos para cidades mundiais. 2021. Available at: <<https://pt.climate-data.org/>>. Accessed on: Nov. 08, 2021.

[11] WEATHER SPARK. Clima e condições meteorológicas em Pinhais no ano todo. 2021. Available at: <<https://pt.weatherspark.com/y/29916/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Pinhais-Brasil-durante-o-ano>>. Accessed on: Nov. 08, 2021.

[12] YANG, Z.; WANG, C.; NIE, Y.; SUN, Y.; TIAN, M.; MA, Y. et al. Investigation on spatial variability and influencing factors of drinking water iodine in Xinjiang, China. **PLoS ONE**, v. 16, n. 12, p. 1-16, 2021.

6. CONCLUSÕES

De acordo com as revisões sistemáticas conclui-se que é fundamental considerar a concentração de iodo na água, solo e região geográfica na avaliação do estado nutricional de iodo, pois estes fatores estão relacionados à concentração do mineral. Além disso, os fatores ambientais e químicos interferem no teor de iodo na água de consumo por diferentes mecanismos e em sua maioria, promovem aumento na concentração do micronutriente na água de consumo, o que pode levar à ingestão excessiva de iodo, ocasionando alterações na função tireoidiana e expondo à população aos distúrbios por excesso de iodo.

Em relação aos artigos originais, evidenciou-se que as concentrações de iodo nas amostras de água de consumo apresentaram contribuições discrepantes na ingestão do micronutriente e em alguns locais do Brasil poderiam contribuir para um consumo excessivo nos diferentes grupos fisiológicos. Ademais, observou-se diferenças nas concentrações de iodo na água entre os diferentes locais das macrorregiões brasileiras nas estações climáticas.

Com base no exposto, sugere-se monitorar a concentração de iodo na água de consumo dos diferentes locais como forma de estabelecer estratégias específicas para cada local e grupo fisiológico a fim de evitar o consumo inadequado de iodo e conseqüentemente alterações na glândula tireoide que pode impactar no estado de saúde da população.

Por fim, destaca-se que o iodo presente na água de consumo deva ser considerado na avaliação do estado nutricional desse micronutriente pois a água pode apresentar contribuição importante no consumo de iodo e dependendo da sua concentração na água pode ultrapassar a necessidade nutricional do indivíduo.

APÊNDICE A – Reagentes e soluções utilizadas na determinação da concentração de iodo na água

Solução estoque de iodeto de potássio: Pesar 1,3081 g de KI (iodeto de potássio), dissolver em água ultrapura e transferir quantitativamente para um balão volumétrico de 1000 mL. Completar com água ultrapura. Em 1 mL tem-se 1 mg de I⁻¹.

Solução de uso contendo 10 mg I/mL a partir da solução estoque de iodeto de potássio: Pipetar 5,00 mL da solução estoque de iodeto de potássio e transferir quantitativamente para um balão volumétrico de 500 mL. Completar com água ultrapura.

Solução tampão cítrico, pH 3,8:

- Ácido cítrico: Pesar 210,2 g de ácido cítrico monohidratado (C₆H₈O₇.H₂O). Dissolver em água ultrapura e transferir quantitativamente para um balão volumétrico de 1000 mL. Completar o volume com água ultrapura.
- Hidróxido de amônio, 2N: Adição de 131 mL de hidróxido de amônio (NH₄OH) em aproximadamente 700 mL de água ultrapura e diluição para 1 litro. Armazenamento em frasco de polietileno.
- Solução tampão final: Adição lenta, sob agitação de 350 mL de solução de NH₄OH 2N em 670 mL de ácido cítrico. Adição de 80 g de di-hidrogenofosfato de amônio (NH₄H₂PO₄), com agitação até dissolução total. Após o preparo desta solução aferição do pH, caso o mesmo estiver acima de 4,0, adicionar ácido sulfúrico concentrado até atingir o pH de 3,8. A solução tampão cítrica foi mantida sob refrigeração (4^o C).

Peroximonossulfato de potássio: Obter o peroximonossulfato de potássio (KHSO₅) como um produto comercial, que é uma mistura em pó contendo 42,8% de KHSO₅ em massa e uma mistura de KHSO₄ e K₂SO₄. Dissolução de 1,5 g do pó em água ultrapura para 1 litro.

Indicador leuco cristal violeta: Em 200 mL de água ultrapura adicionar 3,2 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) num recipiente de vidro âmbar de 1

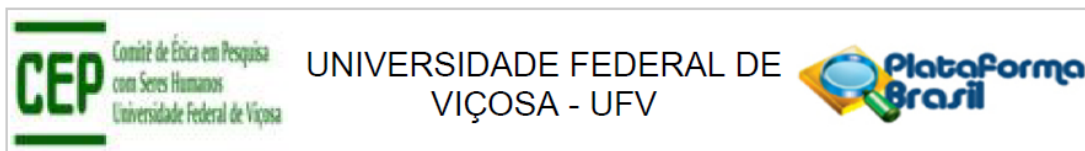
litro. Sob agitação magnética, em velocidade moderada, adicionar 1,5 g de 4,4',4''-methylidynetris (N,N-dimethylaniline)*#(3) (cristal violeta) lavando quantitativamente com pequenas porções de água ultrapura e misturar até dissolução total. Adicionar 2,5 g de cloreto de mercúrio (HgCl_2) em 800 mL de água, seguida de agitação até dissolução total. Adição da solução de HgCl_2 à solução leuco cristal violeta. Para maior estabilidade do indicador, ajustar o pH da solução final para 1,5 ou menos, adicionando, se necessário, H_2SO_4 concentrado aos poucos. Armazenamento da solução em um recipiente de vidro âmbar protegido da luz. Esta solução permanece estável por seis meses, sob refrigeração (4°C).

APÊNDICE B – Estratégia de busca nas bases de dados

	Descrição	Linha de busca
PubMed (79 artigos)		
P	Água de consumo	("drinking water"[Title/Abstract]) OR ("potable water"[Title/Abstract])
E	Fatores ambientais e químicos	(((((environment[Title/Abstract]) OR (soil[Title/Abstract]) OR (soils[Title/Abstract])) OR ("cold climate"[Title/Abstract]) OR ("tropical climate"[Title/Abstract]) OR ("hot temperature"[Title/Abstract]) OR ("hot temperatures"[Title/Abstract]) OR ("cold temperature"[Title/Abstract]) OR ("cold temperatures"[Title/Abstract]) OR (pesticide[Title/Abstract]) OR (pesticides[Title/Abstract]) OR (fertilizer[Title/Abstract]) OR (fertilizers[Title/Abstract]))
O	Concentração de iodo na água de consumo	iodine[Title/Abstract]
Portal BVS (MEDLINE/LILACS (97 artigos)		
P	Água de consumo	("drinking water") OR ("potable water")
E	Fatores ambientais e químicos	(environment) OR (soil) OR (soils) OR ("cold climate") OR ("tropical climate") OR ("hot temperature") OR ("hot temperatures") OR ("cold temperature") OR ("cold temperatures") OR (pesticide) OR (pesticides) OR (fertilizer) OR (fertilizers)
O	Concentração de iodo na água de consumo	(iodine)
Scopus (230 artigos)		
P	Água de consumo	("drinking water") OR ("potable water")
E	Fatores ambientais e químicos	(environment) OR (soil) OR (soils) OR ("cold climate") OR ("tropical climate") OR ("hot temperature") OR ("hot temperatures") OR ("cold temperature") OR ("cold temperatures") OR

		(pesticide) OR (pesticides) OR (fertilizer) OR (fertilizers)
O	Concentração de iodo na água de consumo	(iodine)

ANEXO A – Parecer de aprovação do estudo “Estado nutricional de iodo, sódio e potássio no grupo materno-infantil brasileiro: um estudo multicêntrico” pelo Comitê de Ética



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ESTADO NUTRICIONAL DE IODO, SÓDIO E POTÁSSIO ENTRE GESTANTES, NUTRIZES E LACTENTES BRASILEIROS: UM ESTUDO MULTICÊNTRICO

Pesquisador: Sylvia do Carmo Castro Franceschini

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 80172617.0.1001.5153

Instituição Proponente: Departamento de Nutrição e Saúde

Patrocinador Principal: MINISTERIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA E INOVACAO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.496.986

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto da área de Ciências da Saúde, Saúde Coletiva/Saúde Pública

Objetivo da Pesquisa:

Segundo formulário online: "Avaliar os fatores associados ao estado nutricional de iodo, sódio e potássio em gestantes, nutrizes e lactentes em diferentes regiões brasileiras.

Objetivo Secundário: Estimar a prevalência e fatores associados à deficiência iódica entre gestantes em diferentes idades gestacionais;

Estimar a prevalência e fatores associados à deficiência iódica entre nutrizes em regime de aleitamento exclusivo;

Estimar a prevalência e fatores associados à deficiência iódica entre lactentes exclusivamente amamentados;

Analisar os níveis de iodo no leite humano das nutrizes estudadas; Investigar a relação entre iodúria materna e teor de iodo no leite entre nutrizes e excreção de iodo urinário dos lactentes;

Analisar o teor de iodo no sal de consumo domiciliar bem como de outras fontes lternativas a este como temperos industrializados e compostos artesanais;

Investigar os fatores condicionantes da utilização ou não do sal em sua forma pura no processo de preparo e cocção dos alimentos entre gestantes e nutrizes;

Avaliar o consumo alimentar de gestantes e nutrizes com ênfase na quantificação da ingestão de

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes

Bairro: Campus Universitário

CEP: 36.570-900

UF: MG

Município: VICOSA

Telefone: (31)3899-2492

E-mail: cep@ufv.br

ANEXO B - Aceite do artigo para publicação no Journal of Nutrition and Metabolism

Dear Dr. Pinto,

I am delighted to inform you that the review of your Research Article 7227511 titled Iodine concentration in drinking water in the same or different seasons of the year in Brazilian macro-regions has been completed and your article has been accepted for publication in Journal of Nutrition and Metabolism.

Please visit the manuscript details page to review the editorial notes and any comments from external reviewers. If you have deposited your manuscript on a preprint server, now would be a good time to update it with the accepted version. If you have not deposited your manuscript on a preprint server, you are free to do so.

We will now check that all of your files are complete before passing them over to our production team for processing. We will let you know soon should we require any further information.

As an open access journal, publication of articles in Journal of Nutrition and Metabolism are associated with Article Processing Charges. If applicable, you will receive a separate communication from our Editorial office in relation to this shortly. In regards to payments, we will:

- **Only ever contact you from @hindawi.com email addresses.** If you receive communications that claim to be from us, or one of our journals, but do not come from an @hindawi.com email address, please contact us directly at help@hindawi.com
- **Only ever request payment through our own invoicing system.** Any email requesting payment will always be from an @hindawi.com email address and will always direct you to our invoicing system with a link beginning <https://invoicing.hindawi.com>
If you receive payment requests or information in ways other than this, or have any questions about Article Processing Charges, please contact us at help@hindawi.com.
Finally, we have partnered with leading author service providers to offer our authors discounts on a wide range of post-publication services (including videos, posters and more) to help you enhance the visibility and impact of your academic paper. Please [visit our author services page to learn more.](#)

Thank you for choosing to publish with Journal of Nutrition and Metabolism.

[MANUSCRIPT DETAILS](#)

Kind regards,
Journal of Nutrition and Metabolism