

## QUAL É O pH E A DUREZA DA ÁGUA QUE CONSUMIMOS NO VALE DO ARAGUAIA?

Joyce Laura da Silva Gonçalves<sup>1</sup>  
Wagston Silva de Oliveira Costa<sup>2</sup>  
Giselle Cristina Paulino Ribeiro<sup>3</sup>  
Paulo Cesar Leme<sup>4</sup>

### Resumo:

Um dos polos econômicos da região conhecida como do Vale do Araguaia é composto pelas cidades conurbadas de Aragarças-GO, Barra do Garças-MT e Pontal do Araguaia-MT. A população das três cidades somadas é estimada em cerca de 90 mil habitantes, cujo consumo de água vem aumentando em função do desenvolvimento regional. Neste âmbito, este trabalho teve como objetivo a comparação estatística do pH e da dureza total da água consumida nestas cidades. A metodologia empregada para a determinação de dureza total foi a titulação de complexação e a análise estatística foi baseada nos testes de hipóteses de Grubbs, intervalo de confiança, teste t, ANOVA e Tukey, todos com 95% de confiança ( $p < 0,05$ ). O valor médio de dureza total foi de  $17,7 \pm 3,8$ ;  $8,6 \pm 4,4$  e  $12,9 \pm 3,5$  para Aragarças, Barra do Garças e Pontal do Araguaia, respectivamente. Estas águas foram classificadas como moles e próprias para consumo humano segundo a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Foram identificadas diferenças significativas entre a água de Barra do Garças e as demais cidades, todavia a água de Aragarças e Pontal do Araguaia foram estatisticamente iguais. Observou-se que para todas três cidades, dentro de uma mesma cidade, ao menos um bairro diferiu estatisticamente dos demais. Não foram observadas diferenças significativas entre os valores de pH médio que variaram entre 6,1 a 6,5, atendendo a recomendação da portaria supracitada e, mais uma vez, atestando sua potabilidade.

### Palavras-chave:

Dureza total. pH. Titulação. Estatística. Química analítica.

## ¿CUÁL ES EL pH Y LA DUREZA DEL AGUA QUE CONSUMIMOS EN EL VALE DO ARAGUAIA?

### Resumen:

Uno de los centros económicos de la región conocida como Vale do Araguaia está compuesto por las ciudades conurbadas de Aragarças-GO, Barra do Garças-MT y Pontal do Araguaia-MT. La población de las tres ciudades combinadas se estima en alrededor de 90 mil habitantes, cuyo consumo de agua ha aumentado debido al desarrollo regional. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo comparar estadísticamente el pH y la dureza total del agua consumida en estas ciudades. La metodología utilizada para la determinación de la dureza total fue la titulación de complejación y el análisis estadístico se basó en las pruebas de

<sup>1</sup> Doutorado em Ciências (Química Analítica e Inorgânica). Universidade Estadual de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia. E-mail: jgoncalves@ufmt.br

<sup>2</sup> Graduando em Química-Licenciatura. Universidade Estadual de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia. E-mail: wagstonsilva7@gmail.com

<sup>3</sup> Graduanda em Química-Licenciatura. Universidade Estadual de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia. E-mail: gisellecristinapaulinoribeiro@gmail.com

<sup>4</sup> Mestrado em Ciências (Físico-Química). Universidade Estadual de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia. E-mail: lemepc@hotmail.com

hipótesis de Grubbs, intervalo de confianza, prueba t, ANOVA y Tukey, todos con un 95% de confianza ( $p < 0,05$ ) El valor medio de la dureza total fue de  $17,7 \pm 3,8$ ;  $8,6 \pm 4,4$  y  $12,9 \pm 3,5$  para Aragarças, Barra do Garças y Pontal do Araguaia, respectivamente. Tales aguas se clasificaron como blandas y aptas para el consumo humano de acuerdo con el Decreto 2.914 / 2011 del Ministerio de Salud. Se identificaron diferencias significativas entre el agua de Barra do Garças y de las otras ciudades, sin embargo, el agua de Aragarças y Pontal do Araguaia fueron estadísticamente iguales. Se observó que para las tres ciudades, dentro de la misma ciudad, al menos un barrio difería estadísticamente de los demás. No hubo diferencias significativas entre los valores medios de pH que variaron entre 6,1 y 6,5, cumpliendo con la recomendación de la ordenanza mencionada anteriormente y, una vez más, atestiguando su potabilidad.

**Palabras clave:**

Dureza total. pH. Titulación. Estadística. Química analítica.

**WHAT IS THE pH AND HARDNESS OF THE WATER THAT WE CONSUME IN THE VALE DO ARAGUAIA?**

**Abstract:**

One of the economic center of the region known as the Vale do Araguaia is composed by the conurbation cities of Aragarças-GO, Barra do Garças-MT and Pontal do Araguaia-MT. The population of the three cities together is estimated at around 90 thousand inhabitants, whose water consumption has been increasing due to regional development. In this context, the aim of this work is the statistics comparing of the pH and the total hardness of the consumed water in these cities. The methodology used for the determination of total hardness was the complexation titration and the statistical analysis was based on the hypothesis tests of Grubbs, confidence interval, t test, ANOVA and Tukey, all with 95% of confidence ( $p < 0.05$ ). The mean value of total hardness was  $17.7 \pm 3.8$ ;  $8.6 \pm 4.4$  and  $12.9 \pm 3.5$  for Aragarças, Barra do Garças and Pontal do Araguaia, respectively. These waters were classified as soft and proper for the human consumption according to the Ministry of Health resolution no.2.914/2011. Significant differences were identified between the water of Barra do Garças and the other cities, however the water of Aragarças and Pontal do Araguaia were statistically equal. It was observed that for all the three cities, inside the same city, at least one neighborhood was statistically different from the others. There were no significant differences between the mean pH values ranging from 6.1 to 6.5, following the recommendation of the previously cited law and, once again, attesting to its potability.

**Keywords:**

Total hardness. pH. Titration. Statistic. Analytical chemistry.

**Introdução**

Um dos polos da região agro econômica mato-grossense conhecida como Vale do Araguaia é a cidade de Barra do Garças, situada no sudeste do estado. Esta cidade está em conurbação com outras duas: a cidade mato-grossense de Pontal do Araguaia e a cidade

goiana de Aragarças (IMEA, 2020). Desde 2010, a população estimada destas três cidades apresentou um crescimento de aproximadamente 9,5% (IBGE, 2010). Esse aumento populacional veio acompanhado do desenvolvimento industrial, do agronegócio e do turismo.

Em virtude de tal desenvolvimento, é crescente também a preocupação em preservar as características e a qualidade da água que se consome no Vale do Araguaia, uma vez que, as ocupações urbanas podem se tornar importantes fontes de poluição para os recursos hídricos locais (REZENDE & ARAÚJO, 2016) e que questões relativas ao acesso regular à água potável são de interesse mundial.

No Brasil, para que a água seja considerada adequada ao consumo humano, seus parâmetros microbiológicos e físico-químicos devem atender a Portaria do Ministério da Saúde de nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõem sobre o controle de qualidade e de vigilância da água bem como seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

Dentre as características físico-químicas elencadas nesta portaria, destaca-se o potencial hidrogeniônico (pH). Este parâmetro indica a intensidade da acidez ( $\text{pH} < 7,0$ ), neutralidade ( $\text{pH} = 7,0$ ) ou alcalinidade ( $\text{pH} > 7,0$ ) de uma solução aquosa (SKOOG *et al.*, 2015). Além de atuar diretamente sobre a fisiologia de diversas espécies dos ecossistemas aquáticos, pode ainda contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos à tais ecossistemas ou de metais pesados (PARRON, MUNIZ & PEREIRA, 2011). A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição (BRASIL, 2011).

Outra característica físico-química de extrema importância e frequentemente empregada para análise de água é a dureza total que faz referência sobre o nível de concentração de íons presente na água, em especial sais de metais alcalinos terrosos (Richter, 2009). Quase toda a dureza da água é provocada pela presença de sais de cálcio e de magnésio encontrados em solução. A dureza total da água é constituída de duas partes: dureza temporária e dureza permanente (PARRON, MUNIZ & PEREIRA, 2011). A primeira é devida à presença de bicarbonatos de cálcio e de magnésio, enquanto que a segunda é ocasionada pela presença de outros sais desses mesmos metais, como cloretos, nitratos e, usualmente sulfatos (HARRIS, 2013; SKOOG *et al.*, 2015). A soma das durezas temporária e permanente é conhecida como dureza total da água e geralmente é expressa em  $\text{mg L}^{-1}$  ou ppm de carbonato de cálcio.

O estudo da qualidade da água de várias localidades vem sendo descritos na literatura, em especial correlacionando a dureza total da água com os demais parâmetros descritos na Portaria 2914/2011. Silva e colaboradores correlacionaram a dureza da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana-BA com as características de profundidade dos poços (SILVA & ARAÚJO, 2003). Pimentel e colaboradores (2014) avaliaram algumas variáveis limnológicas de três córregos no município de Nova Xavantina-MT e observaram que a dureza total para todos eles foram observadas no período chuvoso. Queiroz e Zanini (2017) estudaram a água de um riacho, em Tangará da Serra – MT e observaram que os valores de dureza total variaram significativamente em função da localidade de retirada da amostra (QUEIROZ & ZANINI, 2017).

Em geral, as análises de água brasileiras descritas na literatura comparam uma única localidade ou diferentes pontos de coleta de um mesmo recurso hídrico. Além disso, empregam somente a análise de variância ou outro teste similar como ferramenta estatística para identificar as diferenças significativas entre as amostras de águas estudadas, seguidas de um único teste de identificação de grupos distintos. Dessa forma, raros são os autores que comparam águas de diversos municípios ou aplicam dois ou mais testes estatísticos sobre os mesmos parâmetros e realizam a comparação dos mesmos.

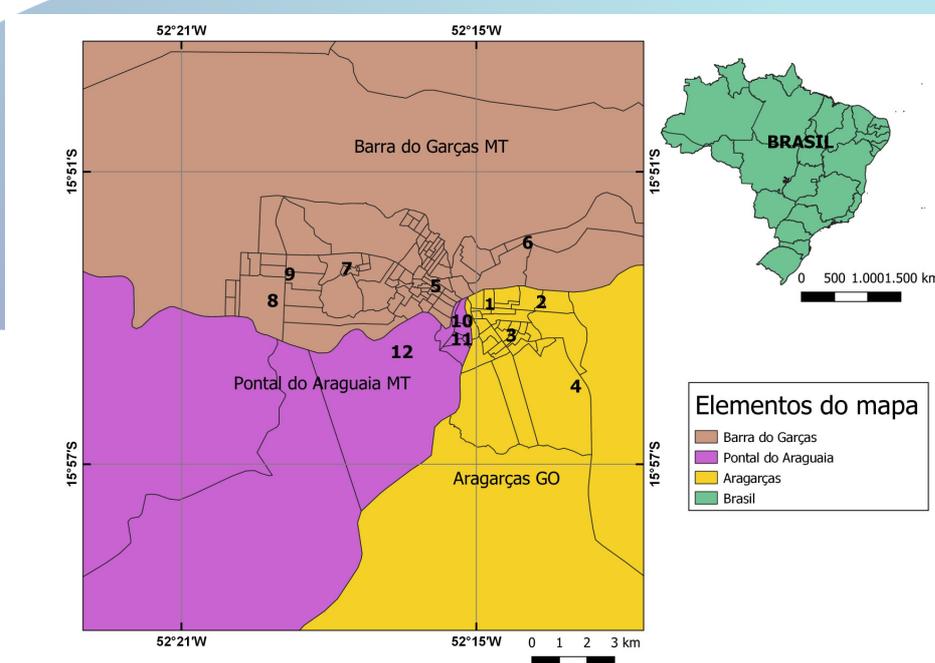
A partir dessas informações, este trabalho teve como objetivo a comparação estatística do pH e da dureza total da água consumida no Vale do Araguaia. Especificamente, analisou-se as águas em relação à sua potabilidade de acordo com as recomendações da Portaria 2914/2011, classificou-se as mesmas em relação a sua dureza, e comparou-se não apenas os bairros dentro de uma mesma cidade, como também a dureza total entre das cidades de Aragarças-GO, Barra do Garças-MT e Pontal do Araguaia-MT aplicando-se vários testes estatísticos simultaneamente.

## **Materiais e Métodos**

Os materiais e equipamentos utilizados foram: balão volumétrico de 100 e 250 mL, bureta de 10 mL, erlenmeyer de 250 mL, pipetas volumétricas de 2 e 50 mL, balança analítica eletrônica e pHmetro portátil KASVI modelo K-39-0014PA equipado com eletrodo de vidro de Ag/AgCl. Os reagentes foram: ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) carbonato de cálcio, amônia, cloreto de amônio, indicador negro de eriocromo T e águas de torneira de 12

localidades da região do Araguaia. Todos os reagentes foram de grau analítico e sem purificações prévias.

A coleta de água para as análises físico-químicas foi realizada entre os meses de março e abril do ano de 2020 em três cidades da região do Araguaia, a saber: Aragarças-GO, Barra do Garças-MT e Pontal do Araguaia-MT. Em Aragarças foram coletadas amostras nos bairros Araguaia, Bela Vista, Nova Esperança e União. Em Barra do Garças foram coletadas amostras nos bairros Dermat, Jardim Serra Azul, Jardim Piracema, Nova Barra e Industrial. Em Pontal do Araguaia foram coletadas amostras nos bairros Centro, Maria Luzia de Moraes e Zona Rural (Figura 1).



1- Araguaia, 2- Bela Vista, 3- Nova Esperança, 4- União, 5- Dermat, 6- Jardim Serra Azul, 7- Jardim Piracema, 8- Jardim Nova Barra, 9- Industrial, 10- Centro, 11- Maria Luzia de Moraes e 12-Zona Rural.

**Figura 1-** Localização dos pontos de coleta de água.

**Fonte:** autoria própria.

As amostras foram coletadas diretamente de torneiras das residências e/ou estabelecimentos das cidades supracitadas e armazenadas em frascos de polietileno. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas, com bolsas térmicas gel, até a chegada ao laboratório (PARRON, MUNIZ & PEREIRA 2011) e as análises foram procedidas em menos de 24h após a coleta.

O método empregado para a determinação de dureza total de água foi a titulação de complexação em meio tamponado de  $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$  em  $\text{pH}=10$ , utilizando como indicador o Negro de eriocromo T. O titulante foi uma solução de  $[\text{EDTA}] = 0,00992 \text{ mol L}^{-1}$

previamente padronizada empregando-se como padrão primário o carbonato de cálcio. A padronização foi realizada pela metodologia convencional (HARRIS, 2013; MENDHAM *et al.*, 2015; SKOOG *et al.*, 2015) e o procedimento experimental de titulação de complexação minuciosamente descrito na literatura (EATON, CLESCERI & GREENBERG, 2017). Todas as titulações foram conduzidas a 25°C.

A análise qualitativa consistiu na comparação dos valores médios de pH e dureza total da água em relação à aceitação para consumo humano elencados na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde que “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2011). Além disso, classificaram-se as amostras em relação à dureza através de dois métodos distintos: o método de Sawyer e McCarty (1967) e o método de Richter (2009). O método de Richter (2009) classifica as águas como mole- até 50 mg L<sup>-1</sup>, moderadamente dura- entre 50 e 150 mg L<sup>-1</sup>, dura- entre 150 e 300 mg L<sup>-1</sup> e muito dura- acima de 300 mg L<sup>-1</sup> considerando a quantidade de carbonato de cálcio contida na água (RICHTER, 2009). Já o método de Sawyer e McCarty classifica como moles águas que apresentem dureza total de até 75 mg L<sup>-1</sup> e, acima deste valor de dureza total a água é considerada dura (SAWYER & MCCARTY, 1967).

Para as análises quantitativas de dureza total das amostras de água foram aplicados testes de hipótese, provenientes de resultados expressos como a média ± desvio padrão (n=3).

### ***Identificação de valores anômalos***

Os dados foram submetidos ao teste de Grubbs para identificação e rejeição de valores anômalos pela seguinte equação:

$$G_{cal} = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (1)$$

onde  $x_i$  é o valor suspeito,  $\bar{x}$  é a média,  $s$  é o desvio padrão e  $G_{cal}$  é o valor calculado de Grubbs. O  $G_{cal}$  foi comparado a um valor tabelado  $G_{tab}$ . Foram excluídos todos os valores cujo valor de  $G_{cal}$  foi maior que o valor de  $G_{tab}$  (HARRIS, 2013; MENDHAM *et al.*, 2015) com nível de confiança de 95%.

### ***Intervalo de confiança para a média***

Foram confrontadas as diferenças significativas entre a dureza total das amostras de água empregando-se o intervalo de confiança para a média ( $p < 0,05$ ) calculado pela Equação 2:

$$\mu = \bar{x} \pm t_{N-1} \times \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

onde  $\bar{x}$  é o valor médio de dureza total obtido por titulação,  $t$  é o valor tabelado de Student,  $t_{\text{tab}}$  ( $p < 0,05$ ,  $gl = 2$ ),  $s$  é o desvio padrão,  $N$  é o número de repetições e  $\mu$  é o valor médio do intervalo de confiança calculado ( $p < 0,05$ ). É sabido que a hipótese nula não pode ser rejeitada se não houver diferença significativa entre dois intervalos de confiança para a média (MILLER & MILLER, 2010; HARRIS, 2013; PFISTER & JANCZYK, 2013).

### ***Teste t pareado***

O teste t pareado foi aplicado para amostras com desvio padrão comparável ( $p < 0,05$ ) calculado pela Equação 3:

$$t_{\text{cal}} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}} \quad (3)$$

onde  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$  são o valor médio da dureza total obtida por titulação para o conjunto de dados 1 e 2, respectivamente,  $s$  é o desvio padrão global,  $N$  é o número de repetições e  $t_{\text{cal}}$  é o valor calculado de  $t$ . Da mesma forma que para o teste de Grubbs, no teste  $t$ , o  $t_{\text{cal}}$  e um valor de  $t$  tabelado ( $t_{\text{tab}}$ ) são comparados. Se o valor de  $t_{\text{cal}}$  for menor que o  $t_{\text{tab}}$ , a hipótese nula é aceita e não há diferenças significativas entre as amostras (MILLER & MILLER, 2010; HARRIS, 2013)

No intuito de confirmar que os desvios padrão dos dados eram comparáveis, foi utilizado o teste F pela seguinte equação:

$$F_{\text{cal}} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (4)$$

onde  $s_1^2$  e  $s_2^2$  são o quadrado do desvio padrão para a dureza total obtida por titulação do conjunto de dados 1 e 2, respectivamente e  $F_{\text{cal}}$  deve ser sempre maior que 1. Novamente, no teste F, um valor tabelado de F ( $F_{\text{tab}}$ ) e o  $F_{\text{cal}}$  são comparados. Se o  $F_{\text{cal}}$  for menor que o  $F_{\text{tab}}$ , a hipótese nula é aceita e não há diferenças significativas entre os dois desvios-padrão (PFISTER & JANCZYK, 2013; MENDHAM *et al.*, 2015). Portanto, eles podem ser rearranjados em uma variância global (HARRIS, 2013), descrita pela Equação 5:

$$s^2 = \frac{[(N_1-1)s_1^2 + (N_2-1)s_2^2]}{(N_1+N_2)-2} \quad (5)$$

onde  $N_1$  é o número de repetições da titulação do conjunto de dados 1,  $N_2$  é o número de repetições da titulação do conjunto de dados 2,  $s_1^2$  e  $s_2^2$  são os desvio padrão para a dureza total obtida por titulação do conjunto de dados 1 e 2, respectivamente e  $s^2$  é a variância global com  $[(N_1 + N_2) - 2]$  graus de liberdade (gl).

### ***ANOVA e Tukey***

Os conjuntos de dados foram inseridos no programa computacional de livre acesso PAST para a realização da Análise de Variância (ANOVA) empregando-se fator único. Como descrito anteriormente para análises utilizando-se o teste F, comparou-se os valores de F e  $F_{\text{crítico}}$  (SKOOG *et al.*, 2015). A hipótese nula foi aceita, indicando que não houve diferenças significativas, nos casos em que  $F_{\text{crítico}}$  foi maior do que F. Todavia a ANOVA não identifica quais amostras diferem estatisticamente para os casos em que ela atesta que há diferenças. Para classificar essas diferenças foi empregado o teste de Tukey com 95% de confiança (TUKEY, 1949). Esta mesma metodologia foi aplicada ainda para identificar diferenças significativas nos valores de pH das amostras de água.

## Resultados e Discussão

Os dados das titulações complexiométricas foram mostrados na Tabela 1. Na primeira etapa, foi aplicado o teste de Grubbs (Equação 1) sob as 3 réplicas de volume de titulante gasto nas titulações. Observou-se que para todas as amostras os valores de  $G_{cal}$  foram menores que o valor de  $G_{tab}$  (1,153 a  $p < 0,05$ ,  $n = 3$ , dados não mostrados). Assim, nenhum valor foi rejeitado - ou seja, não havia valores anômalos de volume. Isso sugere que as discrepâncias nos volumes de titulantes gastos são inteiramente devido a erros indeterminados e, portanto, todos os volumes de titulantes usados foram usados para calcular a dureza total média para a água das cidades de Aragarças, Barra das Garças e Pontal do Araguaia.

**Tabela 1** - Comparação estatística da dureza total da água das três cidades da região do Araguaia.

	<b>Aragarças</b>	<b>Barra do Garças</b>	<b>Pontal do Araguaia</b>
<b>Dureza total (<math>\text{mg L}^{-1}</math>)</b>	11,7 $\pm$ 3,8	8,6 $\pm$ 4,4	12,9 $\pm$ 3,5
<b>Intervalo de confiança da dureza total média (<math>\text{mg L}^{-1}</math>)</b>	9,3 $<\mu$ $<$ 14,2	7,2 $<\mu$ $<$ 10,1	10,2 $<\mu$ $<$ 15,6

Fonte: Autoria própria.

Na segunda etapa, focou-se em uma análise estatística simples e frequentemente aplicada que foi a comparação de duas médias. Tal comparação foi feita através do intervalo de confiança para a média no nível de confiança de 95% que inclui apenas a média, o desvio padrão, o número de repetições e um coeficiente derivado da distribuição t bicaudal (PFISTER & JANCZYK, 2013). O intervalo de confiança para a média pode ser usado para inferir se a hipótese nula é aceita, isto é, as duas médias são iguais ou se deve ser rejeitado, caracterizando a existência de uma diferença significativa entre elas.

Aplicou-se a Equação 2 para as três médias obtidas através dos valores calculados para dureza total das amostras de água para as três cidades estudadas (Tabela 1). Observou-se que os três intervalos de confiança para as médias de dureza total de água foram inferiores ao valor máximo permitido pela regulamentação vigente de 500 mg/L (BRASIL, 2011), classificando, portanto, a água das três cidades como própria para consumo humano, neste quesito.

O valor máximo observado dentre todas as amostras de água estudadas foi 18,9 caracterizando, portanto, como moles as águas de Aragarças, Barra do Garças e Pontal do

Araguaia tanto pelo método de Richter quanto pelo método de Sawyer e McCarty (SAWYER & MCCARTY, 1967; RICHTER, 2009).

As águas de outros municípios brasileiros também apresentaram baixos teores de dureza total semelhantes aos observados para os municípios estudados neste artigo. Cutrim e Cutrim (2008) determinaram que a dureza total variou de 5 a 35 mg L<sup>-1</sup> nas águas do aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT (CUTRIM & CUTRIM, 2008). Batista e colaboradores (2018) estudaram a qualidade da água potável dos campi do Instituto Federal do Amazonas em Manaus-AM e, dentre as análises, obtiveram a dureza total de água de torneiras e bebedouros variando entre 4 e 17 mg L<sup>-1</sup> (BATISTA *et al.*, 2018). Sousa e colaboradores (2015) estudaram a qualidade da água de abastecimento da comunidade Tamarindo na cidade de Campo dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro. Os autores observaram que as durezas totais da água das amostras coletadas na torneira externa apresentaram variação de 5,00 a 8,87 mg L<sup>-1</sup> e para as amostras coletadas na torneira interna uma variação de 5,03 a 8,01 mg L<sup>-1</sup> (SOUZA *et al.*, 2015).

Estatisticamente os intervalos de confiança para a dureza total média da água de Aragarças e as demais cidades se sobrepuseram, fazendo com que a hipótese nula fosse aceita (Tabela 1). Isto é, não foram observadas diferenças significativas entre a dureza total média da água de Aragarças e Barra do Garças e de Aragarças e Pontal do Araguaia. No entanto, tal observação não se repetiu ao comparar-se esse os intervalos de confiança para a dureza total média da água de Barra do Garças e Pontal do Araguaia, rejeitando a hipótese nula para este caso específico, indicando a existência de diferenças significativas entre a água dessas duas cidades.

Na terceira etapa, foi utilizado o teste t pareado ( $p < 0,05$ ) como ferramenta estatística para verificar a similaridade das águas utilizadas neste estudo. Para esta análise a dureza total média de água das cidades foi agrupada em pares: (i) Aragarças e Barra do Garças, (ii) Barra do Garças e Pontal do Araguaia e (iii) Pontal do Araguaia e Aragarças e os resultados estão listados na Tabela 2. Foi aplicado um teste F (Equação 4) para confirmar que os desvios padrão para a dureza total de água eram comparáveis, considerando o grau de liberdade adequado e confiabilidade de 95%. Para as três combinações de pares de cidades possíveis o  $F_{cal}$  foi menor que o  $F_{tab}$ , revelando que os desvios padrão para a dureza total de água das três cidades não apresentaram diferenças significativas e poderiam ser agrupados em uma variação global calculada pela Equação 5.

**Tabela 2** - Comparação estatística pareada da dureza total da água de Aragarças, Barra do Garças e Pontal do Araguaia.

		Aragarças/ Barra do Garças	Barra do Garças/ Pontal do Araguaia	Pontal do Araguaia/Aragarças
Teste F	F <sub>cal</sub>	2,099	1,764	2,099
	F <sub>tab</sub>	2,739	3,237	2,948
Teste t pareado	T <sub>cal</sub>	2,152	2,914	1,986
	t <sub>tab</sub>	2,060	2,074	2,093

Fonte: Autoria própria.

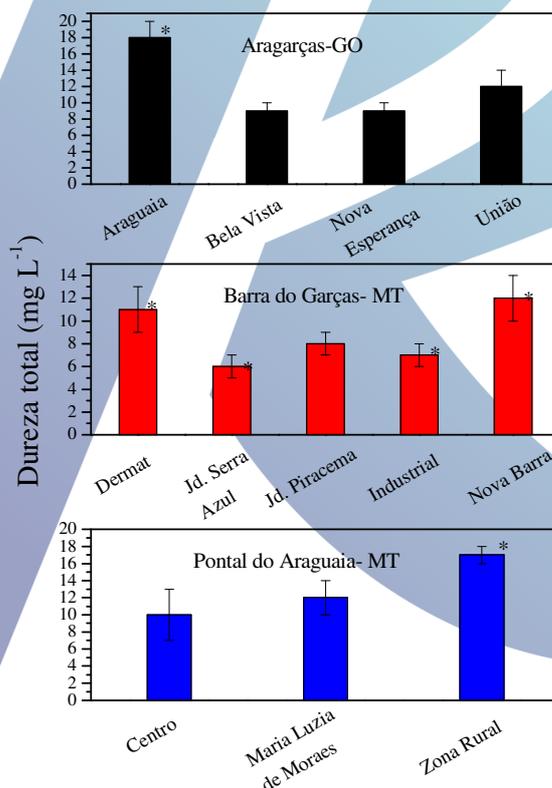
Posteriormente, foi aplicado o teste t pareado através equação 3, que resultou em um valor calculado de  $t_{cal}$  inferior ao  $t_{tab}$  no par Pontal do Araguaia/Aragarças fazendo com que a hipótese nula fosse aceita neste caso e, conseqüentemente, indicando que não foram identificadas diferenças significativas entre a dureza total da água das cidades de Pontal do Araguaia e Aragarças. No entanto, os demais pares de cidades apresentaram o valor de  $t_{cal}$  superior ao  $t_{tab}$ , rejeitando a hipótese nula desses casos e sugerindo que a água de Barra do Garças é diferente das demais cidades (MILLER & MILLER, 1988; FENG *et al.*, 2006). Para o par de cidades Aragarças e Barra do Garças, a diferença entre o valor de  $t_{cal}$  e o valor de  $t_{tab}$  foi extremamente pequena, o que compromete a significância do teste t para esse caso específico, sugerindo a necessidade de outros testes estatísticos para elucidar as diferenças significativas entre a dureza total da água dessas duas cidades.

A análise de variância (ANOVA) utilizando um único fator sobre os dados da dureza total de água de Aragarças (n=12), Barra do Garças (n=15) e Pontal do Araguaia (n=9) resultou em um valor de  $F=4,704$  que foi maior que o  $F_{crítico}=3,285$ , rejeitando a hipótese nula e sugerindo a existência de diferenças significativas entre a água dessas três localidades. O valor de  $p=0,016$  também foi menor que 0,05 confirmando a suposição de que a água destas três cidades não são iguais. O teste de Tukey ( $p<0,05$ ) classificou como similares a água de Aragarças e as demais cidades e identificou que há diferença significativa entre a dureza total de água de Barra do Garças quando comparada com a do Pontal do Araguaia, corroborando com os resultados do intervalo de confiança e elucidando a análise para o teste t pareado.

A ANOVA seguida do teste de Tukey também foi empregada por Queiroz e Zanini (2014) para diferenciar estatisticamente a água coletada próximo à nascente (Q1), após a estação de coleta de água (Q2) e próximo à foz (Q3) do riacho Queima pé, em Tangará da Serra –MT. Os autores analisaram a alcalinidade, turbidez, pH, temperatura, dureza,

condutividade elétrica, cálcio, magnésio, cloretos, sódio, potássio e ferro. Os valores de dureza total média foram 15,31; 32,08 e 28,34 mg L<sup>-1</sup> para Q1, Q2 e Q3, respectivamente e variaram significativamente em função da localidade de retirada da amostra (Tukey 5%), contudo todas as localidades apresentaram-se como moles e apropriadas para consumo humano (QUEIROZ & ZANINI, 2017).

A Figura 2 apresenta a dureza total determinada por titulação complexiométrica para as cidades de Aragarças, Barra do Garças e Pontal do Araguaia em função dos bairros onde foram coletadas as amostras de água para cada cidade. A comparação da água dentro de Aragarças mostrou que para todos os bairros a água foi classificada como mole, porém o bairro Araguaia foi o único bairro que apresentou um aumento de cerca de 80% na dureza total em comparação com os demais bairros da cidade (ANOVA, Tukey, p<0,05). Esta mesma análise comprovou que não foram identificadas diferenças significativas entre os bairros Bela Vista, Nova Esperança e União.



**Figura 2** - Dureza total de água em função dos bairros de cada cidade da região do Araguaia. Fonte: autoria própria.

Dentro de Barra do Garças todos os bairros apresentaram água classificada como mole. O bairro Dermat apresentou um aumento de cerca de 57% e 83% para o bairro Industrial e Jardim Serra Azul, respectivamente. Já para o bairro Nova Barra esse aumento foi cerca 71% Industrial e o dobro para o Jardim Serra Azul. As amostras de água do Jardim Piracema não apresentaram diferenças estatísticas quando comparadas com os demais bairros de Barra do Garças, assim como as do Jardim Serra Azul quando comparadas com o bairro Industrial (ANOVA, Tukey,  $p < 0,05$ ).

Dentro de Pontal do Araguaia a água coletada nos três bairros foram classificadas como mole, contudo observou-se um aumento de cerca de 55% para a água coletada na Zona Rural (ANOVA, Tukey,  $p < 0,05$ ). Considerando que a ANOVA só pode ser aplicada a dados de três ou mais grupos, o mesmo teste não pôde ser aplicado aos demais bairros. Para a comparação dos dois bairros restantes, observou-se que o intervalo de confiança para a dureza total média do bairro Maria Luzia de Moraes ( $8 < \mu < 15$ ppm) está contido no intervalo de confiança para a dureza total média do bairro Centro que foi de  $3 < \mu < 18$ ppm, aceitando a hipótese nula ( $p < 0,05$ ) e comprovando a similaridade da água destes dois bairros de Pontal do Araguaia.

Analogamente ao observado para os bairros dos municípios de Aragarças, Barra do Garças e Pontal do Araguaia, Pereira e colaboradores (2010) também identificaram diferenças nas dureza total da água da água consumida em diversos bairros da cidade de Abaetetuba, no estado do Pará (PEREIRA *et al.*, 2010). Os autores observaram que todas as amostras apresentaram valor inferior a 500mg/L, atendendo a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, vigente naquela ocasião, todavia os valores de dureza total apresentaram grande amplitude: o valor mínimo foi 25,0 e o valor máximo foi 111,0, apresentando o valor médio de  $64,4 \pm 26,9$  e coeficiente de variação de 41,8%. Eles empregaram somente o método de Sawyer e McCarty (1967) para classificar 9 das 25 localidades estudadas como água mole dentro da cidade de Abaetetuba-PA (SAWYER & MCCARTY, 1967).

Em relação ao pH das amostras de água da região do Vale do Araguaia, a ANOVA não identificou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os valores de  $6,4 \pm 0,3$ ;  $6,1 \pm 0,4$  e  $6,5 \pm 0,1$  para Aragarças, Barra do Garças e Pontal do Araguaia, respectivamente. Esses valores médios foram determinados a uma temperatura entre 27,5 e 29,4°C. Nas três cidades estudadas o pH medido atendeu a recomendação de valores entre 6,0 a 9,5 contida na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), indicando que as águas desses municípios estão adequadas ao consumo humano neste quesito.

Outros municípios brasileiros apresentaram valores de pH similares aos encontrados neste estudo tanto para água não tratada como de córregos e rios, quanto para água tratada que abastece residências. Dentro do estado de Mato Grosso, Vinaga e colaboradores 2015 descreveram valores médios de 7,27 para a água que abastece as comunidades quilombolas proveniente do Rio Jauquara na região do Vão Grande (VINAGA *et al.*, 2015), enquanto Rondon e colaboradores observaram valores de pH entre 7,3 a 7,6 para água de torneira do Laboratório de Solos do Departamento de Área de Construção Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Octayde, localizado na cidade de Cuiabá (RONDON, RIBEIRO JUNIOR & SILVA, 2017). Em outras unidades da federação os valores de pH para água tratada foram descritos como sendo 6,71 na cidade de Abaetetuba,-PA (PEREIRA *et al.*, 2010); entre 6,85 a 7,28 na cidade de Timon-MA (OLIVEIRA *et al.*, 2018); entre 5,21 a 7,07 na cidade de Manaus-AM (BATISTA *et al.*, 2018) e entre 6,2 a 6,8 na cidade de Campo dos Goytacazes-RJ (SOUZA *et al.*, 2015).

Vale ressaltar que para atestar a qualidade e a potabilidade da água da região do Vale do Araguaia seria necessário ampliar a análise feita neste estudo determinando, por exemplo, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio, cloreto, cloro residual livre, análise microbiológica, entre outros. No entanto, dentro dos quesitos e análises realizadas neste estudo salienta-se que as águas de Aragarças, Pontal do Araguaia e Barra do Garças estão de acordo com a legislação vigente descrita na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) de pH e dureza total.

### **Considerações finais**

Este estudo mostrou que duas características físico-químicas para a água das cidades de Aragarças-GO, Barra do Garças-MT e Pontal do Araguaia-MT estão de acordo com a legislação vigente, sendo suas águas consideradas adequadas para o consumo humano. Uma delas, a dureza total da água determinada por titulação de complexação, apresentou intervalos de confiança para média ( $p < 0,05$ ) de  $9 < \mu < 14 \text{ mg L}^{-1}$  para Aragarças,  $7 < \mu < 10 \text{ mg L}^{-1}$  para Barra do Garças e  $10 < \mu < 16 \text{ mg L}^{-1}$  para Pontal do Araguaia. Todos os intervalos de confiança foram inferiores a  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo classificadas como moles tanto pelo método de Sawyer e McCarty, quanto pelo método de Richter. Além disso, este valor foi muito menor que o limite de  $500 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Apesar de esses três municípios serem interligados constituindo juntos o polo do Vale do Araguaia, suas águas apresentaram diferenças significativas baseadas em testes estatísticos de hipóteses. Os testes de intervalo de confiança para a média, teste t, ANOVA e Tukey ( $p < 0,05$ ) confirmaram que a água de Barra do Garças é diferente dos demais municípios estudados, todavia, a água do município goiano se mostrou igual à aquela da cidade de Pontal do Araguaia.

Foram ainda identificadas diferenças significativas entre os bairros de uma mesma cidade (ANOVA, Tukey,  $p < 0,05$ ). Para a cidade de Aragarças, o bairro Araguaia diferiu dos demais, enquanto que dentro de Pontal do Araguaia essa diferença foi identificada para o bairro da Zona Rural. Dentro da cidade de Barra do Garças, apenas o bairro Jardim Piracema não apresentou diferenças significativas em relação aos demais bairros. Os bairros Dermat e Nova Barra diferiram estatisticamente dos bairros Jardim Serra Azul e Industrial.

Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de pH para a comparação entre as três cidades estudadas (ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ ). Os valores médios de pH foram  $6,4 \pm 0,3$ ;  $6,1 \pm 0,4$  e  $6,5 \pm 0,1$  para Aragarças, Barra do Garças e Pontal do Araguaia, respectivamente, atendendo a recomendação de valores entre 6,0 a 9,5 contida na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde e atestando que as águas desses municípios estão adequadas ao consumo humano neste quesito.

## Referências

BATISTA, L. M.; BATISTA, R.; MENDONÇA, S.; PASSOS, K, B. Estudo da qualidade da água potável dos campi do IFAM sediados em Manaus. **Revista Igapó - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFAM**, v. 12, n. 1, p. 71-83, 2018.

BRASIL. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde: Brasília, 2011. Disponível em: [https://http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 28 abr. 2020.

CUTRIM, A. O.; CUTRIM, A. L. F. Qualidade das águas do aquífero furnas na cidade de Rondonópolis (MT). **Revista Águas Subterrâneas**, p. 1-8, 2008.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2017.

FENG, S.; LIANG, Q.; KINSER, R. D.; NEWLAND, K.; GUILBAUD, R. Testing equivalence between two laboratories or two methods using paired-sample analysis and interval hypothesis testing. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 385, n. 5, p. 975-981, 2006.

HARRIS, D. **Análise química quantitativa**. Tradução: Júlio C. Afonso e Oswaldo E. Barcia. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 898 p.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

IMEA. Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. 2020. Disponível em: <<http://www.imea.com.br/imea-site/#>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. J. K. **Vogel: análise química quantitativa**. Tradução: Júlio C. Afonso, Paula F. de Aguiare Ricardo. B. de Alencastro. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 462 p.

MILLER, J. C.; MILLER, J. N. Basic statistical methods for analytical chemistry part 1. Statistics of repeated measurements a review. **Analyst**, v. 113, n. 9, p. 1351-1356, 1988.

MILLER, J. N.; MILLER J. C. **Statistics and chemometrics for analytical chemistry**. 6. ed. Prentice Hall/Pearson, 2010. 268 p.

OLIVEIRA, E. M.; RIBEIRO, D. M.; CRONEMBERGER, M. G. O.; CARVALHO, W. F.; LIMA, M. D. P.; SOUSA, K. R. F. Análises físico-químicas e microbiológicas da água de bebedouros em escolas públicas da cidade de Timon-MA. **Pubvet**, v. 12, n. 5, p. 1-6, 2018.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H.F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 67 p.

PEREIRA, S. F. P.; COSTA, A. C.; CARDOSO, E. S. C.; SOARES CORRÊA, M. S.; ALVES, D. T. V.; MIRANDA, R. G.; OLIVEIRA, G. R. F. Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba-Pará. **Revista de estudos ambientais**, v. 12, n. 1, p. 50-62, 2010.

QUEIROZ, T. M.; ZANINI, T. S. Estudo qualitativo da água do riacho Queima Pé, em Tangará da Serra – MT. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 85-95, 2017.

REZENDE, G. B. M.; ARAÚJO, S. M. S. As cidades e as águas: ocupações urbanas nas margens de rios. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 2, p. 119-135, 2016.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 340 p.

PFISTER, R.; JANCZYK, M. Confidence intervals for two sample means: calculation, interpretation, and a few simple rules. **Advances in cognitive Psychology**, v. 9, n. 2, p. 74-83, 2013.

RONDON, H. A.; RIBEIRO JUNIOR, I.; SILVA, M. R. **Implantação de um sistema de reuso da água residual do aparelho destilador para laboratório de solos do IFMT**. 5º Encontro em Engenharia da Edificações e Ambiental. Cuiabá. p. 1-15, 2017.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P.L. **Chemistry for sanitary engineers**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1967, 518 p.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1029, 2003.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, STANLEY R.; NIEMAN, T. A. **Fundamentos de química analítica**. Tradução: Robson M. Matos. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 950 p.

SOUZA, F. P.; TEIXEIRA, T.; MENEZES, L. E. C. F.; PERTEL, M.; FERREIRA, A. V.; PEREIRA, P. S. F. Qualidade da água de abastecimento da comunidade tamarindo em Campos dos Goytacazes/RJ. **Exatas & Engenharias**, v. 5, n. 11, p. 1-16, 2015.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

VINAGA, L.; QUEIROZ, T. M.; FERREIRA, F. S.; SOUZA, J. F. Caracterização físico-química da água utilizada pela população do assentamento quilombola Vão Grande - MT. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 2, p. 30-45, 2015.