

IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA CONTAMINADA POR MATÉRIA ORGÂNICA NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Wellington Mazer (Professor Dr., UTFPR); wmazer@utfpr.edu.br
Marcos Xavier (Eng. Civil, Straumann Neodent); xaviermx@yahoo.com.br

Resumo: As obras de alvenaria, principalmente aquelas destinadas para habitação, são, por muitas vezes planejadas e executadas sem qualquer acompanhamento técnico, este aspecto pode comprometer o desempenho da edificação com relação as manifestações patológicas que podem surgir pela falta de qualificação dos insumos que compõem os materiais, em especial o concreto. Neste cenário, o presente trabalho buscou avaliar quais são os impactos da utilização de água contaminada por matéria orgânica na produção de concreto na região do Alto Iguaçu no município de Porto Amazonas, tomando como amostras de água de três fontes: água do Rio Iguaçu, de um poço próximo ao rio e de água de concessionária. Os parâmetros estudados foram a resistência e porosidade do concreto além da relação entre eles. Os resultados obtidos demonstraram que as amostras produzidas com água de referência possuem uma resistência em média 25% superior comparada com as amostras produzidas com água contaminada. Para o quesito porosidade os resultados não apresentaram os valores esperados. Os concretos produzidos com água de referência apresentaram resultados em média 46,7% superior comparada com as amostras produzidas com água contaminada.

Palavras-chave: Água para Concreto; Porosidade; Resistência e Contaminação Microbiológica.

IMPACTS OF THE USE OF ORGANIC CONTAMINATED WATER IN CONCRETE PRODUCTION

Abstract: Masonry works, especially those designed for housing, are often planned and executed without any technical monitoring, this aspect may compromise the performance of the building in relation to the pathological manifestations that may arise due to the lack of qualification of the materials that make up the materials, especially concrete. In this scenario, the present research sought to evaluate the impacts of the use of contaminated water by organic matter in the production of concrete in the region of Alto Iguaçu in the Porto Amazonas city. The parameters studied were the strength and porosity of the concrete as well as the relationship between them. The results obtained

showed that the samples produced with reference water have an average resistance of 25% higher than the samples produced with contaminated water. For the porosity, the results did not show the expected values. Concretes produced with reference water presented results on average 46,7% higher compared to samples produced with contaminated water.

Keywords: Concrete water; Porosity; Strength and Microbiological Contamination.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, e para que este apresente conformidade com os fatores e características planejadas e desejadas de acordo com sua utilização, faz-se necessário um rigoroso controle de qualidade de seus constituintes, pois estes impactam diretamente na qualidade final do produto. Portanto, quanto mais uniformidade for considerada na escolha e utilização dos constituintes do concreto, maior será a chance de que o produto final alcance os parâmetros projetados.

Dentre os componentes do concreto, a água é o recurso mais abundante na natureza. Presente em todo planeta e constituinte de inúmeros seres, bióticos e abióticos, é também um dos mais potentes inimigos do concreto. Isso se deve a sua ação como agente de deterioração, uma vez que a água pode conter partículas capazes de promover a decomposição química de sólidos como o concreto, que por sua vez está vulnerável à ação da água devido principalmente a sua morfologia extremamente porosa, o que permite transporte e armazenamento de diversas substâncias frequentemente carregadas pela água.

Quando se trata da água como insumo do concreto seu papel é visto como necessário e benéfico, pois é a água o veículo para permitir que as reações de hidratação do cimento ocorram e também dá ao material a devida característica de plasticidade e trabalhabilidade, por outro lado, quando utilizado de maneira inadequada pode prejudicar de forma importante a qualidade do concreto.

Devido a esses fatores, o objetivo principal deste trabalho é avaliar, por meio de experimentação em laboratório, os principais impactos gerados da utilização de água contaminada por agentes biológicos (matéria orgânica) na produção de concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ainda no início dos anos 90, Mehta e Monteiro (2014), estimaram que o consumo mundial de concreto era da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano, quase o dobro do que foi consumido 30 anos antes, 1964, o que correspondia a aproximadamente 1 tonelada por ser humano vivo. No Brasil são produzidos cerca de 20 milhões de m³ de concreto por ano em centrais de concreto, ou seja, nas empresas conhecidas como “concreteiras” (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Andriolo e Sgarboza (1993) afirmam que para o concreto obter maior eficiência é desejável que na mistura fresca se utilize o mínimo de água possível, sem prejuízo da trabalhabilidade e, após o início do endurecimento, durante a cura, seja oferecido o máximo de água, durante um tempo adequado.

A pasta do cimento é o elemento ativo no concreto, o comportamento do concreto depende quase que totalmente das propriedades da pasta, uma vez que a qualidade dos agregados seja satisfatória. E a resistência e porosidade da pasta para um concreto dependem quase que exclusivamente da relação água-cimento (ADÃO e HEMERLY, 2002). Guimarães (2005) cita os fatores que afetam a qualidade do concreto, entre eles o uso da água.

Segundo Quarcioni *et al* (2009), a ocorrência de poros na pasta de cimento normalmente está associada à hidratação do cimento e à evaporação da água livre. O volume de vazios na pasta de cimento endurecida dependerá do volume de água de amassamento adicionada no início da hidratação e do grau de hidratação do cimento.

Para Mehta e Monteiro (2014), impurezas na água usada no amassamento do concreto, quando em excesso, podem afetar além da resistência, o tempo de pega do concreto, mas podem gerar eflorescências, bem como facilitar a corrosão da armadura. No entanto, a qualidade da água de amassamento é considerada pouco relevante na resistência do concreto, pois as especificações normatizadas para utilização da água na produção de concreto exigem que a qualidade da água seja equivalente à potável, as quais raramente contêm sólidos dissolvidos acima de 1000 ppm.

Normalmente a água não potável ou imprópria para o consumo não necessita ser também imprópria para a produção de concreto. Águas consideradas levemente ácidas, alcalinas, salobras, salgadas, turvas ou com mal odor não devem ser rejeitadas imediatamente. Indica-se que para avaliar se determinada água é adequada para a produção de concreto, é comparar se a resistência de corpos de prova de argamassas

produzidos com água de procedência duvidosa com outros produzidos com água limpa, de referência. Pois os corpos de prova produzidos com água duvidosa tendem a apresentar resistências iguais a, pelo menos, 90% da resistência dos corpos de prova feitos com água de referência (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A NBR 15900 (ABNT, 2009) e todas as suas partes (1 a 11) especifica os requisitos para a água a ser considerada adequada para o preparo de concreto e também descreve os procedimentos para amostragem e os métodos de avaliação. É possível definir a água como adequada para o concreto em função de suas origens, estas podem ser:

- Água de abastecimento público: previamente considerada adequada para uso em concreto e dispensa ensaios;
- Água recuperada de processos de preparação do concreto: este tipo de água possui requisitos específicos que estão descritos no anexo A da norma NBR 15900-1 (ABNT, 2009);
- Água de fontes subterrâneas: tipo considerado adequado, porém deve ser ensaiada;
- Água natural de superfície, água de captação pluvial e água residual industrial: pode ser adequada ao uso em concreto, porém deve ser ensaiada;
- Água salobra: pode ser usada para concreto não armado somente e ensaiada. Não adequado para concreto armado e protendido;
- Água de esgoto e água proveniente de esgoto tratado: considerada não adequada para o uso em concreto;
- Água de reuso proveniente de ETE: não há subsídios para garantir o uso deste tipo de água, a NBR 15900-1 (ABNT, 2009), item 3.8, faz ressalvas a esse tipo de água.

A norma NM 137 - Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland (CMN, 1998), é a normatização para o Mercosul reconhecida pelos países membros do eixo, regulamenta os padrões para a água a ser utilizada para o amassamento e cura do concreto.

Importante ressaltar que na NM 137 (CMN,1998) não faz menção a qualquer parâmetro relacionado ao teor, presença ou requisito para a utilização de água contaminada por material orgânico, ao contrário da norma brasileira NBR 15900-1 (ABNT, 2009) que estabelece critérios mínimos que devem ser observados no uso da água para o amassamento do concreto.

A água classificada como potável pode ser utilizada sem restrição segundo a Norma NBR 15900-1 (ABNT, 2009). É considerada água potável aquela que atende à Portaria 518 (BRASIL – MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004) que dispõe os procedimentos e as responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Segundo essa portaria: “*água potável – água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde*”.

No Quadro 1 é apresentado o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.

Quadro 1 – Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

Parâmetro	VMP ⁽¹⁾
Água para consumo humano⁽²⁾	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ⁽³⁾	Ausência em 100ml
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ⁽³⁾	Ausência em 100ml
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100ml em 95% das amostras examinadas no mês. Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100ml.

(1) Valor máximo permitido.

(2) Água para consumo humano em toda e qualquer situação incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

(3) A detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

Fonte: Ministério da Saúde (2004).

2.1 A ÁGUA AMOSTRADA

Segundo Ide *et al* (2012), estudos realizados comprovam que as águas do Alto Iguaçu se apresentam bastante degradadas devido ao grande número de moradias irregulares na região, estas não contam com qualquer tipo de coleta e/ou tratamento de esgotos. Quando os tratamentos existem, estes não são eficazes e também acabam comprometendo a qualidade da água dos mananciais. Em seus estudos, Ide *et al* (2012), concluíram suas avaliações da qualidade das águas da Bacia do Alto Iguaçu, por meio do IQA, que vários

pontos estão bastante comprometidos por causa do lançamento de resíduos domésticos com ou sem tratamento no corpo hídricos.

De acordo com Lindner (2013), o estudo da qualidade das águas pode ser realizado pela análise de vários parâmetros e através de várias metodologias, tais como o Índice de Qualidade das Águas (IQA), a Avaliação Integrada da Qualidade da Água (AIQA).

Em estudo realizado pelo IAP (2005) utilizando a metodologia AIQA para a avaliação da qualidade da água no Alto Iguaçu concluiu, com base nos resultados da análise que o Alto Iguaçu, no município de Porto Amazonas apresenta características de corpo poluído em inúmeras amostras e em poucas amostras como medianamente poluído, como está apresentado na Tabela 1 – Resultados AIQA Porto Amazonas.

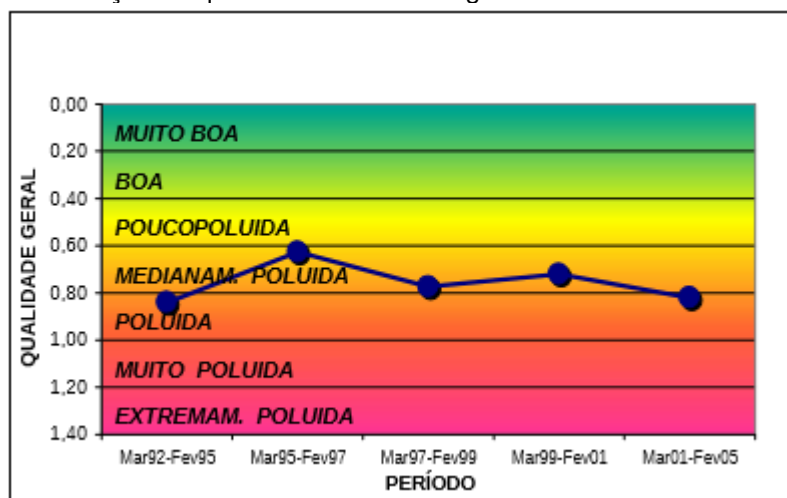
Na Figura 1 está apresentado a evolução na qualidade média das águas - AIQA do Alto Iguaçu no período de março/1992 e fevereiro/2005, dados monitorados pelo Instituto Ambiental do Paraná também utilizando do método AIQA enquanto que a na Figura 2 apresenta-se os mesmos dados de 2005 a 2009.

Tabela 1 – Resultados AIQA Porto Amazonas

SUBSISTEMA 2		AIQA									
CÓDIGO	RIO										
AI04	Iguaçu	1,00	POLUÍDO	0,79	MED POL	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO
AI13	Iguaçu	0,84	POLUÍDO	0,63	MED POL	0,78	MED POL	0,72	MED POL	0,82	POLUÍDO
AI14	Iguaçu	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO
AI20	Iguaçu	0,96	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO
AI24	Iguaçu	0,97	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO
AI25	Iguaçu	1,00	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,89	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO	0,95	POLUÍDO

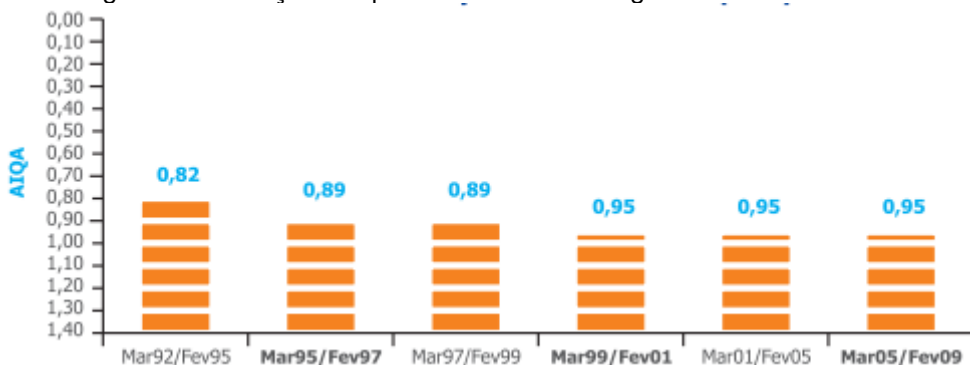
Fonte: IAP (2005)

Figura 1 – Evolução da qualidade média das águas - Porto Amazonas 1992 / 2005



Fonte: IAP (2005)

Figura 2 – Evolução da qualidade média das águas – AIQA Porto Amazonas 2005 /2009.



Fonte: IAP (2009)

2.1.1 Contaminantes Biológicos

Praticamente todas as águas naturais contêm bactérias devido à sua exposição ao ar e ao solo. Na sua maioria tratam-se de microrganismos comuns, não causadores de doenças, cujo volume varia conforme o lugar e as condições ambientais. No seu curso, as águas superficiais ou subterrâneas, podem ser contaminadas com microrganismos patogênicos. A via mais frequente de contaminação ocorre através de esgotos domésticos. A forma de pesquisa e quantificação desses agentes se dá pela presença de alguns tipos de bioindicadores. Este é um princípio universalmente aceito para avaliação da qualidade microbiológica de água (SCHULLER, 2004).

Os principais bioindicadores da qualidade da água, conforme descrito pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) são:

- Coliformes Totais (bactérias do grupo coliforme): bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em 24-48 horas. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;
- Coliformes Termotolerantes: subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;

- *Escherichia coli*: bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas, é considerada o mais específico bioindicador de contaminação fecal.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho se deu através de metodologia composta pelas seguintes etapas:

- 1) Escolha do tipo de água a ser testada como insumo do concreto. Para esse ponto optou-se pelo tipo de água presente na bacia do Rio Iguaçu, mais precisamente no Alto Iguaçu na região do município de Porto Amazonas. Esta escolha foi baseada em dados pesquisados em vários institutos de procedência reconhecida que indicam que a água presente nessa região do rio tem parâmetros intermediários, não sendo considerado nem muito poluído nem muito limpo. Também se optou em realizar os ensaios com uma água extraída do subsolo da mesma região e utilizada como água de consumo geral por residentes dessa localidade. Ao mesmo tempo, submeter ao teste também amostra de água fornecida por concessionária, portanto esta é considerada isenta de análise pela norma NBR 15900-1 (ANBT, 2009).
- 2) Ensaio Microbiológicos da água amostrada. As águas amostradas das duas fontes foram submetidas a uma análise microbiológica para a investigação de Bactérias Heterotróficas (Contagem), Pesquisa de Coliformes Totais e Termotolerantes e *Escherichia coli*. O método de ensaio adotado foi o *APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) 22nd Ed. Washington 2012*. Utilizando como padrão de referência a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 Ministério da Saúde.
- 3) Moldagem dos corpos de prova: conforme NBR 5738 (ABNT, 2015) - Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Foram moldados 8 corpos de prova para cada tipo de água amostrada. Utilizou-se de formas cilíndricas de metal nas dimensões de 100 mm x 200 mm (diâmetro x altura). O concreto produzido para todas as amostras foi utilizando um traço de 1:2:3 (cimento, areia e brita 1) e relação água-cimento (a/c) de 0,6. O cimento utilizado foi CPV-ARI.

- 4) Cura úmida do concreto: Após 24h da moldagem dos corpos de prova, estes foram submetidos a cura em câmara úmida e neste estado permaneceram por 90 dias.
- 5) Ensaio de Resistência a compressão axial do concreto: de acordo com os requisitos especificados na norma brasileira NBR 5739 (ABNT,2007) - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Utilizou-se de uma prensa de compressão da marca EMIC.
- 6) Ensaio de Porosidade: ensaio utilizando o método de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio.

A análise estatística dos dados de resistência da compressão para a verificação da existência de diferenças reais entre os tratamentos, composições e métodos adotados neste trabalho foi feita mediante a Análise da Variância (ANOVA), através do *software Statgraphics® Plus 4.1*

Uma vez que as variâncias apresentassem diferenças significativas, é importante determinar quais grupos de médias, em particular, são importantes. Para tal análise utilizou-se, neste trabalho, o procedimento para comparação de médias de *Tukey-Kramer*, determinado mediante o uso do mesmo *software*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

Nos Quadros 2 e 3 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de caracterização microbiológica, para as amostras de água extraídas do Rio Iguaçu e de um poço no município de Porto Amazonas, respectivamente. Pode-se observar que nos dois casos, as amostras ensaiadas obtiveram o mesmo resultado, onde nenhuma delas atendem aos parâmetros estabelecidos na legislação (Portaria nº 2914:2011), portanto impróprias para o consumo humano e conseqüentemente impróprias também para a produção de concreto, segundo a NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

Quadro 2 – Caracterização Microbiológica da água – Alto Iguaçu

Ensaio Realizado	Resultados	Parâmetros de Referência*	Metodologia
Contagem Total de Bactérias Heterotróficas	>6,3 x 10 ³ UFC / mL	5,0 x 10 ² UFC / mL	SMEWW 9215 B
Pesquisa de Coliformes Totais e Termotolerantes	Presença	Ausência	SMEWW 9223 A
Pesquisa de <i>Escherichia coli</i>	Presença	Ausência	SMEWW 9223 AB

Fonte: o autor (2017)

Quadro 3 – Caracterização Microbiológica da água – Poço

Ensaio Realizado	Resultados	Parâmetros de Referência*	Metodologia
Contagem Total de Bactérias Heterotróficas	>6,3 x 10 ³ UFC / mL	5,0 x 10 ² UFC / mL	SMEWW 9215 B
Pesquisa de Coliformes Totais e Termotolerantes	Presença	Ausência	SMEWW 9223 A
Pesquisa de <i>Escherichia coli</i>	Presença	Ausência	SMEWW 9223 AB

Fonte: o autor (2017)

4.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – pH

As amostras das águas utilizadas para a produção do concreto foram submetidas a medição de seu pH instantes antes da mistura de seus componentes. Mediu-se esse parâmetro em laboratório, para tal, utilizou-se de potenciômetro devidamente calibrado. Os resultados obtidos foram:

- Água extraída do Rio: 5,92;
- Água extraída do Poço: 4,21;
- Água da concessionária – Rede pública de abastecimento: 6,08.

Tais resultados demonstram que apenas a amostra da água extraída do poço apresenta valores de pH fora dos limites estabelecidos no item 5.2.2 da NM 137:1998, fixados em 5,5 (mínimo) e 9,0 (máximo), enquanto a norma NBR 15900-1, no seu item 4.2 estabelece pH maior ou igual a 5,0.

Os fatores relacionados ao pH da água podem estar ligados a alterações no pH final do concreto que pode, por sua vez, conferir ao material considerável proteção contra agentes agressivos de corrosão.

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de ruptura dos corpos de prova por meio de compressão axial foram realizados em laboratório. Foram submetidos ao processo oito (8) amostras produzidas com cada tipo de água. Os resultados da resistência à compressão podem ser observados no Quadro 5.

Observou-se que os valores ruptura para os corpos de prova moldados com água da concessionária apresentaram valores acima dos encontrados para as demais amostras, sendo que os valores médios obtidos com água do Rio Iguaçu alcançaram 73,06 % da resistência média das amostras com água da concessionária e os resultados obtidos na ruptura dos corpos de prova moldados com concreto produzido com água do poço ficaram com 76,68% do valor médio da resistência média das amostras com água da concessionária de abastecimento público.

Além disso, as resistências obtidas estão fora dos limites indicados por Mehta e Monteiro (2014), em que os corpos de prova moldados com água de procedência duvidosa devem apresentar valores em torno de 90% com relação aos moldados a partir de águas de referência.

Na Tabela 2 estão demonstrados os valores médios obtidos no ensaio de compressão, com análise das diferenças estatísticas das médias.

Na Tabela 3 estão demonstrados os valores para determinação das diferenças estatísticas obtidas no ensaio de compressão, por meio de tratamento estatístico ANOVA. Estes dados indicam que para a comparação entre os grupos de concretos produzidos com Água de Poço vs. Água da Sanepar e Água do Rio vs. Água da Sanepar existem diferenças estatisticamente significativas no nível de confiança de 95,0%. Pois os resultados encontrados para resistência à compressão do concreto com água de procedência apresentou valores relativamente maiores do que os das outras duas amostras.

Tabela 2 – Resistência à compressão

Corpo de Prova	Tensão de Ruptura – água da concessionária (MPa)	Tensão de Ruptura – água do Rio Iguaçu (MPa)	Tensão de Ruptura – água de poço (MPa)
CP 1	24,19	16,06	17,87
CP 2	22,89	17,73	18,12
CP 3	22,77	16,75	18,35
CP 4	22,77	17,79	16,44
CP 5	23,15	18,14	18,05
CP 6	23,44	15,25	17,88
Valores Máximos	24,19	18,14	18,35
Valores Mínimos	22,77	15,25	16,44
Média	23,2 A	16,95 B	17,79 B
Desvio Padrão Absoluto	0,55	1,14	0,68
Erro Padrão	0,224	0,465	0,278
Coefficiente de Variação	2,37%	6,70%	3,83%

Letras diferentes na linha das médias demonstram diferenças estatísticas a um nível de confiança de 95%

Fonte: o autor (2018)

Tabela 3 – Resistência à Compressão – Diferença estatística entre Grupos

Grupos - Comparação	Diferença
Água de Rio - Água Poço	0,831667
Água de Poço - Água Sanepar	-5,41667
Água Rio - Água Sanepar	-6,24833

Fonte: o autor (2018)

Através da análise de variância (ANOVA) dos valores médios de resistência à compressão foi obtido o valor de 100,7 para a função F de Snedecor, que conduziu para uma probabilidade p-valor de $2,02 \times 10^{-9}$, indicando a existência de diferenças estatísticas entre os valores. Para determinar quais grupos apresentaram as diferenças estatísticas foi realizado o procedimento *Multiple Range Test*, através da análise de Tukey-Kramer, sendo o resultado desta análise indicada na Tabela 2, na linha das médias através das letras 'A' e 'B', onde letras diferentes indicam resultados estatisticamente diferentes, sendo possível

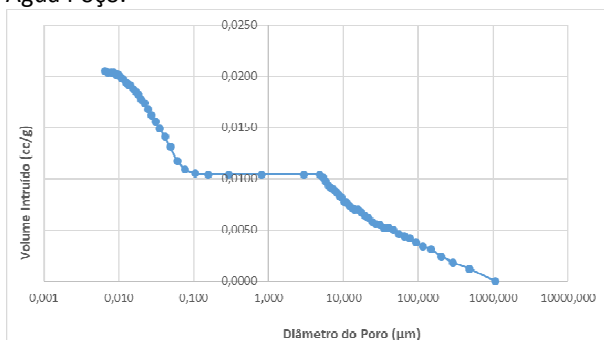
observar que a resistência à compressão dos corpos de prova de concretos moldados com água do Rio Igauçu e com água de poço possuem resultados inferiores aos concretos moldados com água da rede pública de abastecimento.

4.4 AVALIAÇÃO DA POROSIDADE

Os ensaios de Porosidade foram realizados pelo laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no NPT – Núcleo de Pesquisas Tecnológicas utilizando o método PIM – Porosimetria por Intrusão de Mercúrio por meio do equipamento *Poremaster 33* do fabricante *Quantachrome*. Utilizou-se para o teste amostras dos três tipos de concreto produzidos com as diferentes águas, ambas as amostras representaram o volume de 1,00cm³.

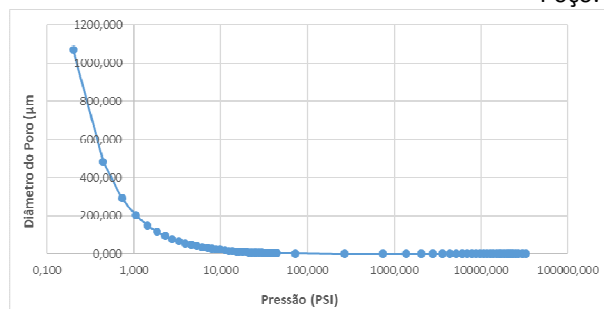
Nas figuras 3 e 4 são apresentados os resultados gráficos para o ensaio de porosimetria executado na amostra de concreto produzido com água de Poço. Nas figuras 5 e 6 são apresentados os resultados gráficos para o ensaio de porosimetria executado na amostra de concreto produzido com água do Rio. Nas figuras 7 e 8 são apresentados os resultados gráficos para o ensaio de porosimetria executado na amostra de concreto produzido com água da concessionária.

Figura 3 – Volume Intrudido vs. Diâmetro dos Poros – Água Poço.



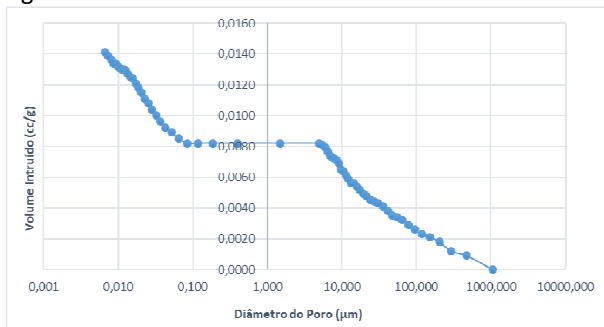
Fonte: o autor (2018)

Figura 4 - Diâmetro dos Poros vs. Pressão – Água Poço.



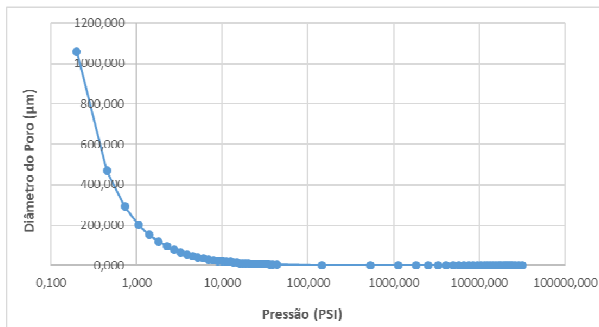
Fonte: o autor (2018)

Figura 5 – Volume Intrudido vs. Diâmetro dos Poros – Água do Rio.



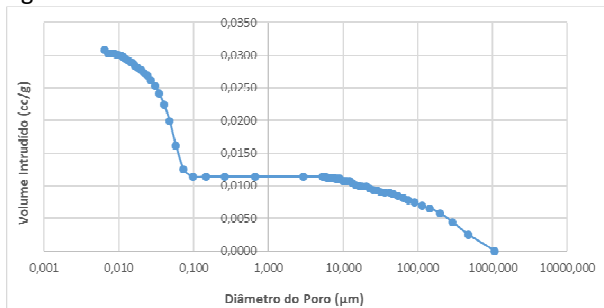
Fonte: o autor (2018)

Figura 6 - Diâmetro dos Poros vs. Pressão – Água do Rio.



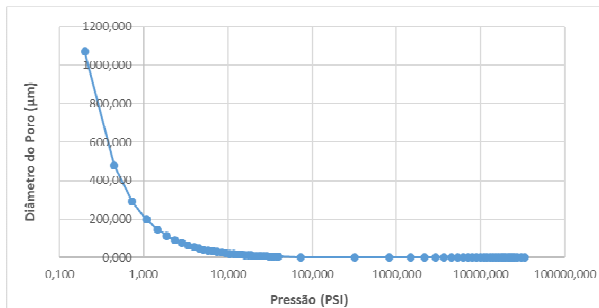
Fonte: o autor (2018)

Figura 7 – Volume Intrudido vs. Diâmetro dos Poros – Água da concessionária.



Fonte: o autor (2018)

Figura 8 - Diâmetro dos Poros vs. Pressão – Água da concessionária.



Fonte: o autor (2018)

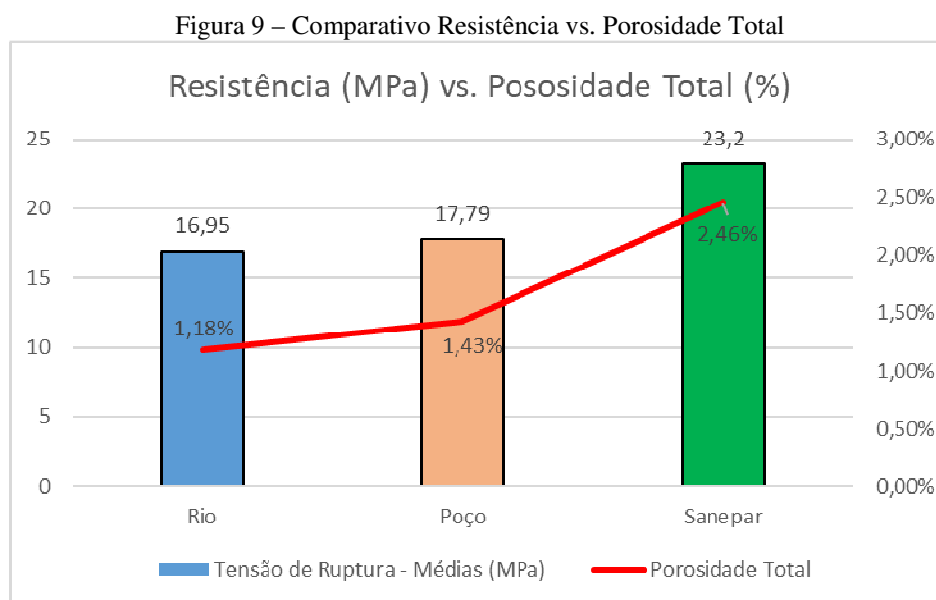
Na tabela 4 são apresentados os resultados consolidados para os parâmetros diversos encontrados no ensaio de porosimetria para as três amostras.

Tabela 4 – Resultados Consolidados – Porosimetria

Parâmetros - Porosimetria	Água Poço	Água Rio	Água Sanepar
Volume da Amostra	1,0000 cc	1,0000 cc	1,0000 cc
Limite de Pressão de Preenchimento Interpartícula	50,0000 PSIA	50,0000 PSIA	50,0000 PSIA
Limite de Tamanho do Poro - Preenchimento Interpartícula	4266,4438 nm	4266,4438 nm	4266,4438 nm
Volume Intruído (Interpartícula)	0,0072 cc	0,0068 cc	0,0091 cc
Porosidade Total Interpartícula)	0,7193%	0,68%	0,9064%
Volume Intruído (Intrapartícula)	0,0071 cc	0,0050 cc	0,0155 cc
Porosidade Total (Intrapartícula)	0.7061 %	0,50%	1,5492%
Volume Total Intruído	0,0143 cc	0,0118 cc	0,0246 cc
Porosidade Total	1,4254%	1,1759	2,4556%
Porosidade Teórica	65,270%	58,5250%	60,1750%

Fonte: o autor (2018)

Comparando os resultados obtidos para resistência a compressão dos corpos de prova com o resultado da porosidade total está apresentado na Figura 9 – Comparativo Resistência vs. Porosidade Total.



Fonte: o autor (2018)

Os dados contidos nas figuras relativas à análise da porosidade demonstram que os poros de maiores dimensões de diâmetro são os que demandam menor pressão para seu preenchimento, e um aumento de pressão é necessário para que o mercúrio possa completar a intrusão completa dos poros.

5. CONCLUSÕES

Os insumos do concreto, como as normas de referência citadas neste trabalho recomendam, devem ser controlados de forma que estes confirmem características mínimas de desempenho projetadas, quando isso não ocorre os parâmetros não são alcançados e o resultado é a ocorrência de inevitáveis e diversas patologias. Algumas delas são facilmente identificadas, pois apresentam-se visíveis, outras são de difícil detecção, como por exemplo a resistência desejada, esta característica dependerá de exames mais detalhados e muitas vezes de ensaios laboratoriais para serem confirmados.

Como foi detalhado nesta pesquisa, a água utilizada para a produção do concreto deve ser de procedência conhecida, livre de contaminações e com parâmetros físicos e químicos definidos em normas nacionais e internacionais. As contaminações biológicas, tais

como as matérias orgânicas (microrganismos) devem estar em níveis controlados para que a água seja considerada adequada para a utilização na produção de concreto.

Notou-se que nas amostras de concreto produzidas com águas de três diferentes fontes (contaminada e de procedência) resultaram em características distintas com relação a resistência e a porosidade.

O concreto produzido com água proveniente da bacia do Rio Iguaçu, região do município de Porto Amazonas apresentou resistência quase 27% abaixo da resistência do concreto produzido com água de concessionária, e 17% abaixo do que estabelece Mehta e Monteiro (2014).

Já o concreto produzido com água proveniente de poço, da mesma região geográfica, apresentou resistência 23,32% abaixo da resistência do concreto produzido com água de concessionária e 13,32% abaixo do que estabelece Mehta e Monteiro (2014).

Com relação ao ensaio de Porosimetria, obteve-se resultados fora do padrão esperado. Ao contrário do que se supunha a porosidade apresentada pelo concreto produzido com água de referência (Sanepar) foi maior do que o obtido nas outras amostras. Um fator, não estudado neste trabalho, mas que também pode ter interferido no resultado esperado são as interferências dos microrganismos nas reações de hidratação do cimento.

O concreto produzido com água de referência apresentou um valor 41,6% acima da porosidade total do que foi produzido com água de poço e 51,8% comparado a porosidade total apresentada pelo concreto produzido com água do rio.

Quanto aos resultados da porosidade interpartícula total o concreto produzido com água de referência apresentou resultado 25% e 12,4% maior do que o resultado dos concretos produzidos com água do rio e de poço respectivamente. Estes resultados podem ser justificados pelo tipo de agregado utilizado, de formato lamelar observado no momento da mistura dos insumos, o que notadamente dificultou o adensamento eficiente.

Os resultados da porosidade intrapartícula total o concreto produzido com água de referência apresentou resultado 67% e 52,7% maior do que o resultado dos concretos produzidos com água do rio e de poço respectivamente. O que pode ser explicado pela maior porosidade das partículas de agregados usados na produção do concreto com água de referência.

Deve-se levar em consideração que os valores obtidos no ensaio de porosidade são bastante pequenos se comparados com os valores encontrados normalmente em concretos, o que não compromete a confiabilidade dos ensaios realizados.

Dessa forma, pode-se afirmar, que as características mínimas de qualidade dos insumos, destaca-se aqui a água, devem ser obedecidas para a obtenção de melhores resultados de resistência e, por conseguinte outros parâmetros não estudados aqui..

REFERÊNCIAS

ADÃO, F. X., HEMERLY, A. C., **Concreto Armado: Novo Milênio: Cálculo Prático e Econômico**. Editora Inteciência, Rio de Janeiro, 2002.

ANDRIOLO, F. R., SGARBOZA, B. C. **Inspeção e Controle de Qualidade do Concreto**. Newswork, São Paulo, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900-1: Água para Amassamento do Concreto – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE - SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE – COORDENAÇÃO GERAL DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL, **Portaria MS n.º 518/2004**, Editora do Ministério da Saúde, Brasília 2004.

CMN - COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO - **NM 137:97 - Argamassa e Concreto - Água para Amassamento e Cura e Argamassa e Concreto de Cimento Portland**, CMN, 1997.

GUIMARÃES, A. T.C, **Propriedades do Concreto Fresco – Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações**, Editor Geraldo Cechella Isaia. IBRACON, São Paulo, 2005.

HELENE, P. R. L., **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica - Tese, São Paulo, 1993.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ, **Monitoramento da Qualidade das Águas dos Rios da Região Metropolitana de Curitiba no Período de 2002 a 2005**, Instituto Ambiental do Paraná, Curitiba, 2005

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ, **Monitoramento da Qualidade das Águas dos Rios da Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, no Período de 2005 a 2009**, Instituto Ambiental do Paraná, Curitiba, 2009

IDE, A. H., OSAWA, R.A., DOS SANTOS, M. M., DE AZEVEDO, J. C. R., VAN KAICK, T. S., **Utilização do IQA na avaliação da qualidade das águas da Bacia do Alto Iguaçu**, 35^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, 2012.

LINDNER, B., **Diagnóstico Espacial -Temporal da Qualidade da Água do Rio Iguaçu na Região da Bacia do Alto Iguaçu**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Construção Civil - Curso de Engenharia de Produção Civil - Trabalho de Conclusão de Curso, Curitiba 2013.

MEHTA, K. P., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**, Editora PINI, São Paulo, 2014.

QUARCIONI, V. A., CHOTOLI, F. F., SERGIO CIRELLI ÂNGULO, S. C., GUILGE, M. S., CAVANI, G. R., DE CASTRO, A. L., CINCOTTO, M. A., **Estimativa da Porosidade de Argamassas de Cimento e Cal pelo Método de Cálculo de Volumes**, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2009.

SCHULLER, D., **Unidade IX - Microbiologia de Água Destinada ao Consumo Humano - Microbiologia e Genética Molecular Microbiana - Manual de Laboratório**, Copissaurio, 2004.

TUTIKIAN, B.F., HELENE, P.R., **Concreto: Ciência e Tecnologia - Capítulo 12 - Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**, Editor: Geraldo Cechella Isaia, IBRACON São Paulo, 2011.