

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DE AMASSAMENTO CONTAMINADA POR RESÍDUOS DE EXTRAÇÃO DE CARVÃO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Eduardo da Boit Nicoleit (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) eduardonicoleit@hotmail.com, (2) dss@unesc.net

RESUMO

O concreto de cimento Portland é produzido a partir da mistura de cimento, areia, brita e água, podendo ter ou não o acréscimo de aditivos. Tendo em vista a importância da água para o concreto, substâncias prejudiciais presentes na água de amassamento em teores acima do que a NBR 15900:2009 estabelece, podem interferir nas propriedades do concreto. O presente estudo tem como objetivo analisar a influência da utilização de água de amassamento contaminada por elementos químicos oriundos de mineração de carvão nas propriedades do concreto produzido com cimento Portland CP-II Z 32. Para tal, foram executadas 48 amostras de concreto com água de amassamento contaminada por resíduos de extração de carvão e outras 48 amostras para referência utilizando água de amassamento potável. Foi realizada a concretagem dos corpos de prova de acordo com o traço estabelecido e posteriormente teste de determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone, ensaios de Resistência à Compressão Axial, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo Elástico de Elasticidade à Compressão e, aos 150 dias, ensaio de Difração de Raios-X. Em relação aos corpos de prova de referência, o concreto produzido com água contaminada apresentou diferença de 10 mm no teste de Abatimento de Tronco de Cone, nos testes de Resistência não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os grupos de análise. Quanto à composição química, as amostras apresentaram os mesmos minerais no teste de Difração de Raios-X aos 150 dias.

Palavras-Chave: Água de amassamento. Ataque por Sulfato. Concreto. Resistência.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria extrativista do carvão mineral na região de Criciúma foi responsável por um grande salto no desenvolvimento econômico nas décadas passadas, porém, deixou um legado negativo no que diz respeito a poluição e contaminação ambiental, levando a degradação severa de solos, rios e nascentes. Tal impacto se deu, principalmente, pela falta de cuidado das empresas da época em depositar e tratar o rejeito resultante do processo de extração do carvão mineral.

A toxicidade do rejeito em questão é devida, principalmente, ao alto teor de pirita (FeS_2) encontrado no composto, este por sua vez, quando em contato com oxigênio e água, sofre oxidação e libera no solo e efluentes uma solução caracterizada por seus baixos níveis de pH ($\text{pH}=2,0$), elevados teores de sulfatos ($>2000\text{mg/L}$) e ferro (J.R.J Zumarán et. al., 2004). O problema se agrava quando resíduo contaminado entra em contato com corpos d'água, sendo este fenômeno, chamado de Drenagem Ácida de Mina (DAM).

A DAM, degrada seriamente o habitat natural, e assim a qualidade da água fica imprópria para uso doméstico e para o desenvolvimento natural da flora e fauna aquática. O dano ocasionado, depende de vários fatores incluindo a frequência, volume e as espécies químicas presentes na DAM. (J.R.J Zumarán Farfán, 2004)

Sendo a DAM um fenômeno recorrente na região de Criciúma e a água um elemento vital para a sociedade em diversos aspectos, torna-se importante avaliar as consequências da utilização, acidental ou intencional, de águas contaminadas.

No âmbito da construção civil, mais especificamente na produção do concreto, a água de amassamento é de vital importância, servindo como reagente no processo de hidratação do cimento, dando trabalhabilidade a mistura e podendo representar até 20% do volume do concreto (CIMENTO.ORG, 2010). Sendo assim espera-se que a mesma tenha níveis seguros de agentes contaminantes. Para tal a NBR 15900-1:2009 estabelece níveis máximos destes agentes patológicos, não podendo apresentar pH inferior a 5,0 e teor de sulfato superior a 2000 mg/l.

A utilização, acidental ou intencional, de águas contaminadas com altos teores de sulfatos na produção de concreto pode levar a um fenômeno patológico conhecido como “Ataque por Sulfatos”.

Os sulfatos difundem-se no concreto, e demais materiais de base cimentícia, através da rede de poros dos mesmos. Dentro da pasta de cimento hidratada, os sulfatos reagem com o cálcio para formar gipsita e com as fontes de cálcio e alumínio para formar etringita. (BARBOSA DE SOUZA, 2006)

Ainda segundo Barbosa de Souza (2006) a formação de etringita e gipsita resultam em uma expansão volumétrica da matriz cimentícia e conseqüentemente, a criação de tensões internas que levam, devido à baixa resistência do concreto à tração, a formação de fissuras no interior do maciço, reduzindo a resistência e aumentando a permeabilidade. Outro fator que leva a fissuração do maciço cimentício, em consequência do ataque de sulfatos, se dá quando há a completa secagem do concreto contaminado, onde os sais de sulfatos passam a ocupar um maior volume, em comparação ao seu estado solúvel.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades do concreto utilizando água contaminada pelo rejeito de carvão como água de amassamento na produção de concreto utilizando o cimento CP-II Z 32, comparando as propriedades mecânicas do material com idades de até 150 dias, tendo como referência a NBR 15900:2009 e o trabalho apresentado por (Gonsalves, 2016) utilizando, assim, as mesmas dosagens e traços na produção do concreto, além do mesmo número de corpos de prova e idades de análise.

Foram produzidos 96 corpos de prova de dimensões 100x200mm, sendo que os mesmos ficaram em cura por um período de 28 dias, e permaneceram em laboratório até a execução dos ensaios. Para as idades de 28, 90, 120 e 150 dias os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de Resistência à Compressão Axial (NBR 5739:2007), Resistência à Tração por Compressão Diametral (NBR 7222:2011), Módulo de Elasticidade à Compressão (NBR 8522:2008 e ensaio de Difração de Raios X aos 150 dias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na fabricação do concreto foram disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPARQUE, com exceção da água contaminada e do

cimento Portland CP-II Z 32. Como agregado graúdo e miúdo, utilizou-se brita nº 1 de malha 24 mm e areia média lavada sem umidade, respectivamente.

2.1.1 ÁGUA DE AMASSAMENTO

Para obter uma comparação válida do efeito da água de amassamento contaminada em relação a água potável derivada do abastecimento público no concreto, utilizou-se o mesmo traço e relação água/cimento, isolando como variável apenas os contaminantes presentes na amostra proveniente de DAM, com o intuito de comparar os resultados deste estudo com o realizado por (Gonsalves, 2016), utilizou-se valores semelhantes de relação água/cimento e traço. A amostra contaminada foi coletada no município de Forquilha/SC, em um depósito de resíduos contaminado nos arredores de um depósito de rejeitos de uma mineradora, conforme mostra a Figura 1 (a). Para ambas as amostras foram utilizados 15,12 litros de água, mantendo uma relação água/cimento de 0,56.

A diferença entre as amostras é notável, ao realizar uma análise visual prévia, tendo a amostra contaminada coloração alaranjada, conforme exposto na Figura 1 (b), além de forte odor.

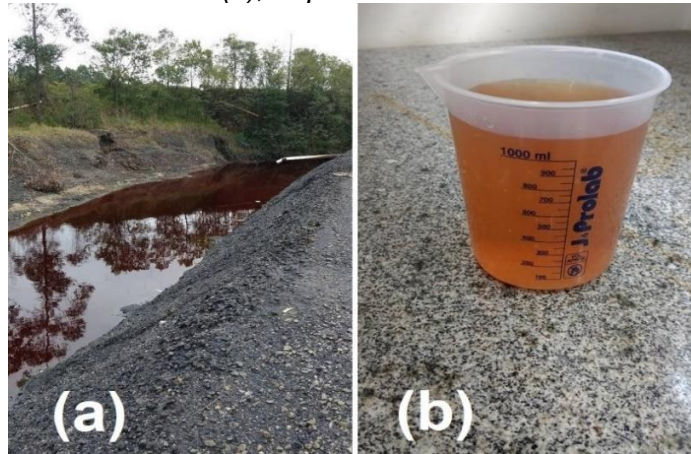
A caracterização da amostra contaminada foi realizada no Laboratório de Águas e Efluentes Industriais do IPARQUE, com foco específico nos componentes químicos citados na NBR 15900-1:2009, que estabelece limites máximos de contaminantes para água de amassamento, além de delimitar um pH mínimo de 5,0.

Os teores de contaminantes encontrados na amostra contaminada por resíduos de extração de carvão, assim como os valores máximos determinados em norma, estão descritos na Tabela 1.

A caracterização da amostra contaminada indicou dois parâmetros acima do especificado pela NBR 15900-1:2009 como limites máximos, sendo estes, o índice de sulfatos e valor de pH. Em estudo realizado por (Gonsalves, 2016), foi utilizado cimento Portland tipo CP IV-32, com o intuito de atender as especificações da NBR 12655:2006 para situações como a presente, porém neste estudo, foi utilizado cimento CP-II Z 32, com o intuito de

maximizar os danos causados pelos agentes contaminantes e verificar o reflexo deste efeito nas propriedades do concreto.

Figura 1: Ponto de coleta da amostra (a); Aspecto visual da amostra contaminada (b)



Fonte: Do autor

Tabela 1: Caracterização da Amostra Contaminada

Caracterização da Amostra de Água				
ANÁLISE	NORMA	LQ (Limite de quantificação)	CONTAMINADA	UNIDADE
Alcalinidade total	1500,00	0,50	< 0,5	mg/L
Chumbo Dissolvido	100,00	0,01	< 0,01	mg/L
Cloretos	4500,00	50,00	< 50,00	mg/L
Nitratos	500,00	1,00	< 1,00	mg/L
pH	5,00	-	2,30	-
Sulfatos	2000,00	5,00	4285,00	mg/L
Zinco Dissolvido	100,00	0,01	12,50	mg/L

Fonte: Do autor

2.1.2 CIMENTO E AGREGADOS

As composições de cimento e agregados, assim como o fck e relação água/cimento foram baseados no que apresentou (Gonsalves, 2016), com o intuito de comparar os resultados do presente estudo. A Tabela 2 indica a composição em peso do concreto utilizado.

Tabela 2: Composição do concreto

Traço em Massa (1:m)	Tipo de Mistura	Traço Unitário (c:a:b)	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	a/c
1,0 : 6,5	Referência	1,0 : 3,12 :	27	84,24	91,26	0,56
	Contaminado	3,38	27	84,24	91,26	0,56

Fonte: Do autor

Para a utilização correta dos valores apresentados na tabela 2, foi realizada a pesagem dos materiais, com o auxílio de balança de precisão, pertencente ao Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPARQUE, local onde foi realizada a concretagem dos corpos de prova.

2.2 MÉTODOS

Foram produzidos, 96 corpos de prova, sendo 48 utilizando água potável e outros 48 utilizando água contaminada por resíduos de pirita. Os corpos de prova possuem formato cilíndrico nas dimensões 100x200 mm, como estabelece a NBR 5738:2015 e foram concretados seguindo as orientações da mesma. Após a desmoldagem os corpos de provas foram mantidos imersos em água até a idade de 28 dias.

Para verificar a influência da água contaminada nas propriedades do concreto em estudo, foram realizados os ensaios de Resistência à Compressão Axial (NBR 5739:2007), Resistência a Tração por Compressão Diametral (NBR 7222:2011) e Módulo de Elasticidade a Compressão (NBR 8522:2008) nas idades de 28, 90, 120 e 150 dias, além do teste de Abatimento do Tronco de Cone (NBR NM 67:1998) e o ensaio de Difração de Raios X aos 150 dias.

2.2.1 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

As condições de trabalhabilidade do concreto fresco foram determinadas através do ensaio de abatimento do tronco de cone seguindo as orientações da NBR NM 67:1998.

Tal ensaio tem por finalidade analisar e, portanto, controlar a fluidez e consistência da massa e por consequência, sua uniformidade no momento da concretagem. Tal ensaio é comumente utilizado como parâmetro para estipular se o concreto produzido irá se acomodar de maneira uniforme e prevenir a segregação dos agregados. Para o presente trabalho estipulou-se um abatimento de 100 ± 20 mm.

2.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Para a determinação da Resistência à Compressão Axial e Resistência à Tração por Compressão Diametral, utilizou-se a prensa servo-hidráulica da marca EMIC, modelo PC200i, com capacidade máxima de 200 ton. Para ambos os testes a prensa aplica uma carga gradual e o software da EMIC compõe o diagrama de Tensão x Tempo, gerando um relatório com as informações retiradas do teste. Para cada idade de ensaios de Resistência à Compressão Axial e Resistência à Tração por Compressão Diametral foram ensaiados três corpos de provas, seguindo as determinações das normas NBR 5739:2007 e NBR 7222:2011.

2.2.3 MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO

Para a obtenção do módulo estático de elasticidade à compressão foram realizados os procedimentos que constam na NBR 8522:2008, com o auxílio de prensa servo-hidráulica e microprocessada, neste caso da marca EMIC, modelo PC200CS, de capacidade máxima para 200 ton.

Equipando um extensômetro na prensa e acoplado-o ao corpo de prova de concreto, foi possível realizar a determinação de módulo tangente inicial e módulo secante por meio do software TESC-EMIC e gerar o relatório e o diagrama tensão-deformação, sendo que o extensômetro faz a medição da deformação localizada no ensaio e, posteriormente é realizado o cálculo do módulo de elasticidade.

2.2.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Para caracterização da microestrutura do concreto produzido com a utilização de água contaminada, foi realizado o ensaio de difração de raios X (DRX) aos 150 dias, executado no laboratório CECAM, pertencente ao Iparque, foi utilizado o equipamento da marca Shimadzu, modelo LabX XRD-6100. Tal teste apresenta um relatório completo das fases cristalinas presentes nas amostras, sendo assim possível determinar se houve formação de novos compostos minerais no concreto, em especial Etringita e Gipsita, comumente encontrado em amostras de concreto que sofreram ataques de sulfatos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA POR ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

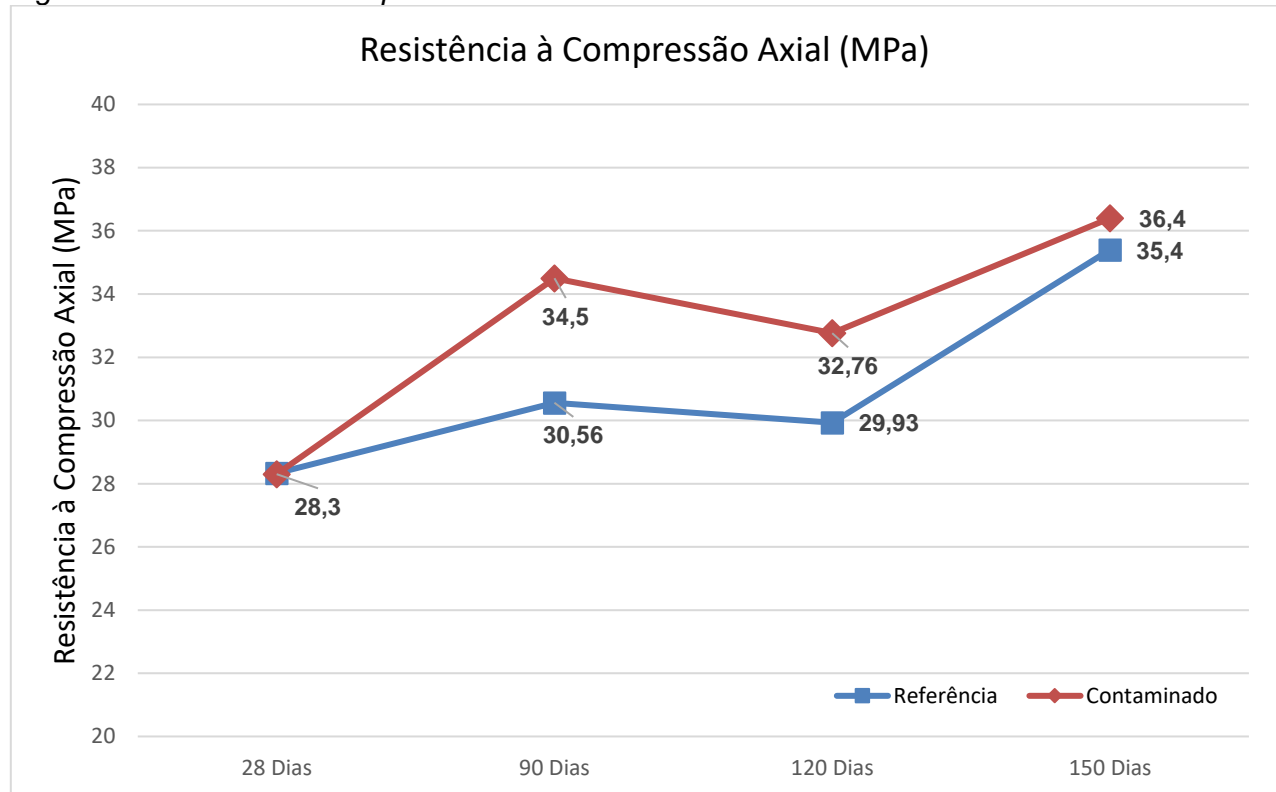
O teste de abatimento de tronco de cone foi utilizado, no presente trabalho, como primeira linha de comparação entre o comportamento das amostras referência e contaminada, sendo que a amostra referência apresentou maior trabalhabilidade em relação a contaminada, ambas amostras possuíam o mesmo peso de água, cimento e agregados. A amostra referência apresentou um abatimento de aproximadamente 120 mm enquanto a amostra contaminada apresentou uma fluidez superior, com 130 mm de abatimento. Esta mudança na altura de abatimento pode ser explicada pela diferença de peso específico entre a água contaminada e a potável, por possuir materiais contaminantes na sua composição, a amostra de DAM apresentou uma menor quantidade de moléculas de água, diminuindo assim, a fluidez do concreto.

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados obtidos no presente trabalho para o teste de Resistência à Compressão Axial, assim como a variação percentual em relação à média dos CP's de referência para

cada idade e seus respectivos desvios padrão, estão expostos na Figura 2 e Tabela 3, respectivamente.

Figura 2: Resistência à Compressão Axial



Fonte: Do Autor

Comparando-se os valores de resistência ao longo dos dias é possível notar um crescimento característico do concreto em ambas amostras, com exceção dos valores aos 120 dias, onde ambas amostras sofreram uma queda, 5,04% na média das amostras contaminadas e 2,06% na média das amostras referência. Os CP's contaminados apresentaram valores médios superiores aos de referência a partir dos 28 dias, onde apresentaram médias idênticas, aos 90 dias observa-se a maior variação percentual (12,86%) em relação à média dos corpos de prova de referência para esta idade, a diferença decai no decorrer do tempo e chega aos 150 dias com 2,74% de variação.

Tabela 3: Desvio padrão e variação em percentual para o teste de Resistência à Compressão Axial.

Idade	Amostra	Mpa (média)	Desvio Padrão	Varição em relação ao CP Referência (%)
28	Referência	28,33	1,007	-
	Contaminado	28,30	1,735	-0,11
90	Referência	30,57	0,289	-
	Contaminado	34,5	0,755	12,86
120	Referência	29,93	2,503	-
	Contaminado	32,77	3,109	9,49
150	Referência	35,43	0,643	-
	Contaminado	36,40	2,007	2,74

Fonte: Do Autor

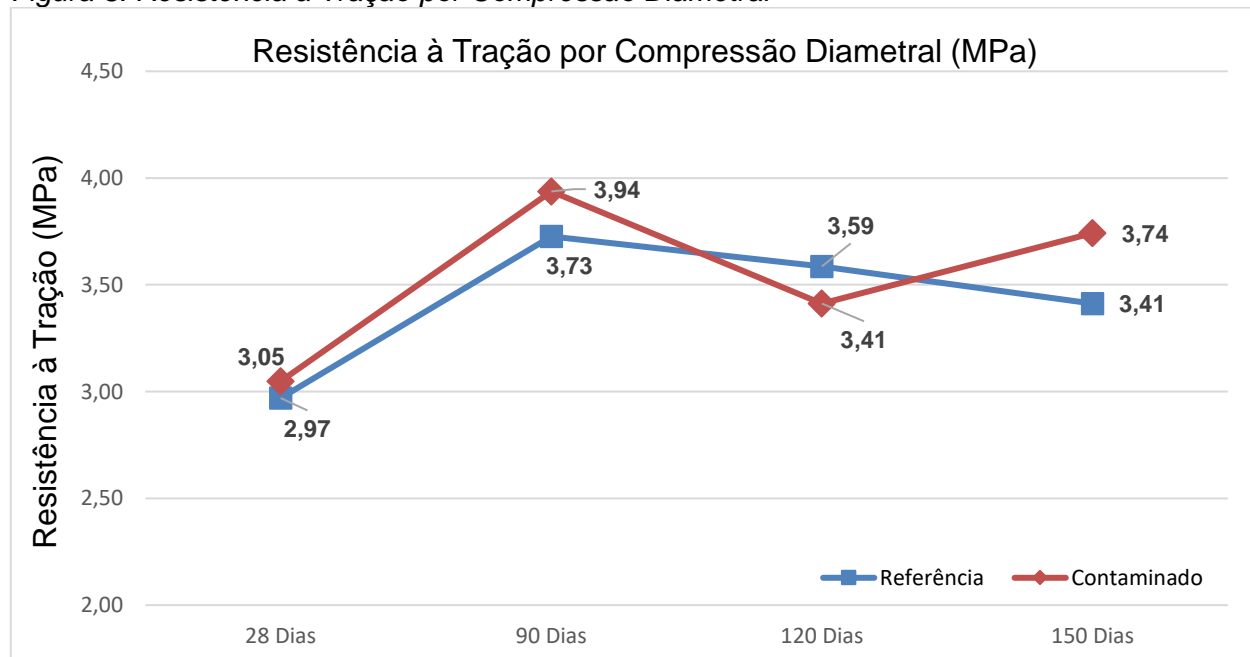
Após realizar a análise de variância (ANOVA), comparando os valores de referência e contaminado para cada idade, e no decorrer do tempo, constatou-se, com 95% de confiabilidade, que não existe diferença estatística significativa entre as resistências das amostras produzidas com água contaminada e de referência. Não sendo possível afirmar que a adição de água contaminada pelo resíduo de extração de carvão como água de amassamento tenha resultado em perdas significativas de resistência à compressão axial. Corroborando com o que foi apresentado por Gonsalves (2016), onde, utilizando cimento Portland CP IV-32 recomendado pela NBR 12655:2006, também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os valores de resistência à compressão axial das amostras contaminada e referência.

Segundo Barbosa de Souza (2006), a concentração da solução agressiva é de grande influência na severidade dos danos causados pelo ataque de sulfatos na matriz do concreto, podendo ser esta a causa da não notoriedade de perdas na resistência a compressão axial nos corpos de prova contaminados, tanto no presente trabalho, como em Gonsalves (2016). Outra explicação pode se dar pelo fato de que o concreto foi hidratado na presença dos sulfatos, não havendo assim expansão posterior a cura do mesmo.

3.3 RESITÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados obtidos no presente trabalho para o teste de Resistência à Tração por Compressão Diametral, assim como a variação percentual em relação à média dos CP's de referência para cada idade e seus respectivos desvios padrão, estão expostos na Figura 3 e Tabela 4, respectivamente.

Figura 3: Resistência à Tração por Compressão Diametral



Fonte: Do Autor

Analisando o que foi exposto na Figura 3 e Tabela 4, é possível notar que os valores referência e contaminado apresentam pouca diferença entre si, ainda sim, nas idades de 28, 90 e 150 as amostras contaminadas apresentaram valores superiores, 2,64%, 5,67% e 9,67% respectivamente. Para idade de 120 dias apresentou-se o quadro inverso, com a amostra de referência apresentando valor médio superior ao contaminado, na ordem de 4,85%.

Tabela 4: Desvio padrão e variação em percentual para o teste de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Idade	Amostra	Mpa (média)	Desvio Padrão	Varição em relação ao CP Referência (%)
28 dias	Referência	2,97	0,06	-
	Contaminado	3,05	0,13	2,64
90 dias	Referência	3,73	0,37	-
	Contaminado	3,94	0,38	5,67
120 dias	Referência	3,59	0,23	-
	Contaminado	3,41	0,49	-4,85
150 dias	Referência	3,41	-0,24	-
	Contaminado	3,74	-0,10	9,67

Fonte 1: Do Autor

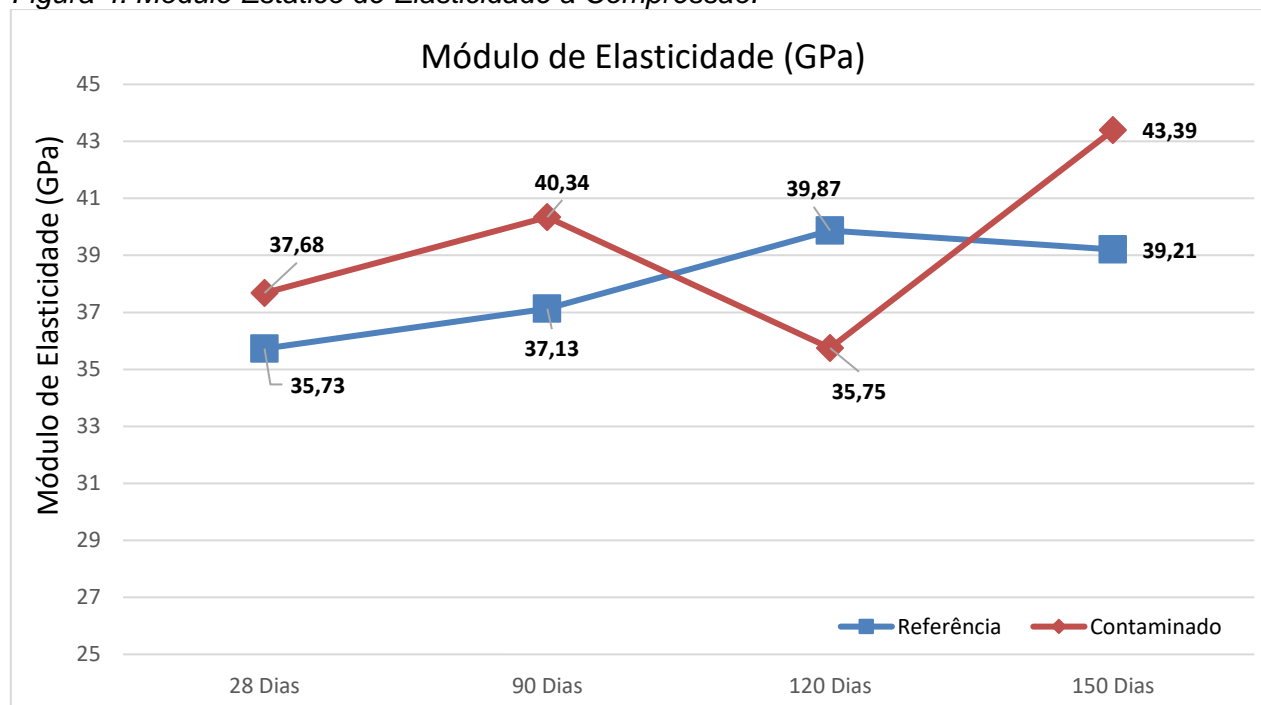
Após realizar a análise de variância (ANOVA), comparando os valores de referência e contaminado para cada idade, e no decorrer do tempo, constatou-se, com 95% de confiabilidade, que não existe diferença estatística significativa entre as resistências das amostras produzidas com água contaminada e de referência. Não sendo possível afirmar que a adição de água contaminada pelo resíduo de extração de carvão como água de amassamento tenha resultado em perdas significativas de resistência à tração. Corroborando com o que foi apresentado por Gonsalves (2016), onde, utilizando cimento Portland CP IV-32 recomendado pela NBR 12655:2006, também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os valores de resistência à tração das amostras contaminada e referência.

Weritz (2009) sugere que a formação de etringita e gipsita está acompanhada da perda de adesão e de resistência, lascamento e expansão, o que explicaria a diminuição de resistência à tração dos concretos. Tal comportamento não foi observado no presente trabalho, onde os CP's contaminados por sulfato obtiveram resistências à tração estatisticamente iguais aos CP's referência, com exceção da idade de 120 dias, como pode ser observado na Tabela 4 e Figura 3.

3.4 MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho para o Módulo Estático de Elasticidade à Compressão, assim como a variação percentual em relação à média dos CP's de referência para cada idade e seus respectivos desvios padrão, estão expostos na Figura 4 e Tabela 5, respectivamente.

Figura 4: Módulo Estático de Elasticidade à Compressão.



Fonte: Do Autor

Comparando os dados da Figura 4 e Tabela 5, pode-se notar que, assim como nos testes anteriores, as amostras contaminadas apresentaram valores superiores em relação as amostras de referência, tendo como exceção os valores aos 120 dias, que apresentaram grande divergência percentual (-10,33%) em relação à média do CP referência. Nas demais datas os valores contaminados apresentaram ascensão na variação em relação aos CP's referência, chegando aos 150 dias com 10,66%.

Após realizar a análise de variância (ANOVA), comparando os valores de referência e contaminado para cada idade, e no decorrer do tempo, constatou-se, com 95% de confiabilidade, que não existe diferença estatística significativa entre os módulos de

elasticidade das amostras produzidas com água contaminada e de referência. Não sendo possível afirmar que a adição de água contaminada pelo resíduo de extração de carvão como água de amassamento tenha resultado em perdas significativas no módulo de elasticidade. Corroborando com o que foi apresentado por Gonsalves (2016), onde, utilizando cimento Portland CP IV-32 recomendado pela NBR 12655:2006, também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os valores de módulo de elasticidade das amostras contaminada e referência.

Tabela 5: Desvio padrão e variação em percentual para o teste de Módulo Estático De Elasticidade à Compressão.

Idade	Amostra	GPa (média)	Desvio Padrão	Varição em relação ao CP Referência (%)
28 dias	Referência	35,74	0,15	-
	Contaminado	37,68	3,02	5,43
90 dias	Referência	37,13	2,15	-
	Contaminado	40,34	0,28	8,65
120 dias	Referência	39,87	2,91	-
	Contaminado	35,75	1,17	-10,33
150 dias	Referência	39,21	0,92	-
	Contaminado	43,39	0,86	10,66

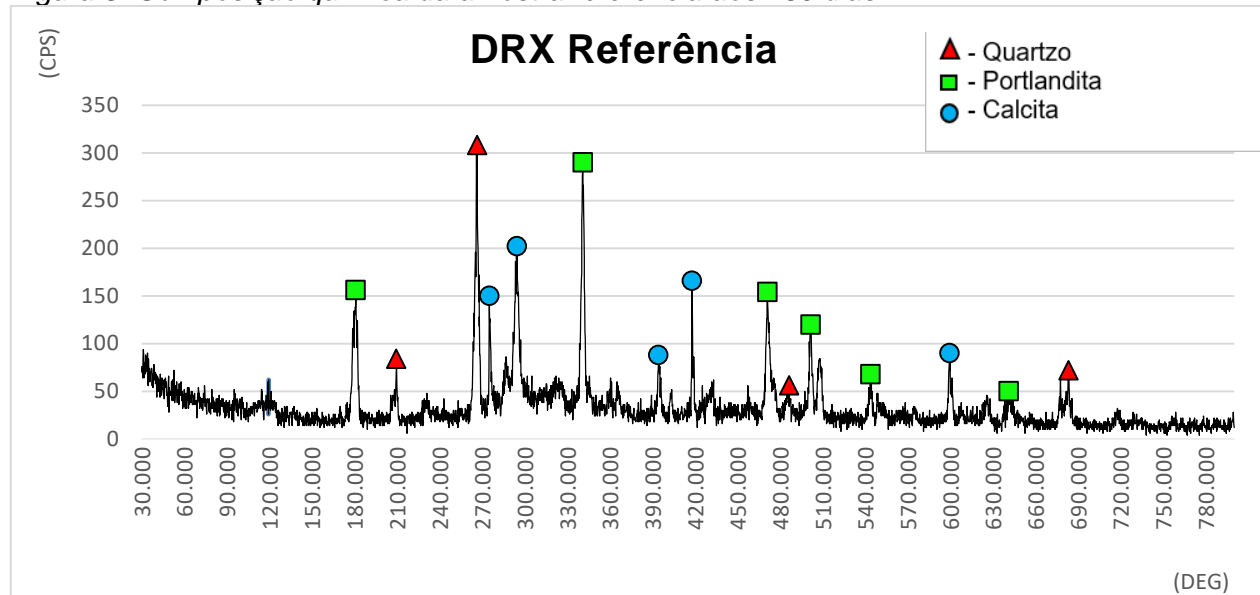
Fonte: Do Autor

Weritz (2009) argumenta que as consequências do ataque por sulfatos não compreendem somente a desagregação por expansão e fissuração, mas também a perda de resistência do concreto devido à perda de coesão na pasta de cimento e à perda de aderência entre a pasta e as partículas de agregado, para o presente trabalho, não foram observadas tais perdas citadas na bibliografia, com exceção da idade de 120 dias, onde, assim como nos resultados já apresentados, houve queda de resistência para ambas amostras, sendo esta, acentuada para o módulo estático de elasticidade à compressão, em especial, nas amostras contaminadas.

3.5 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

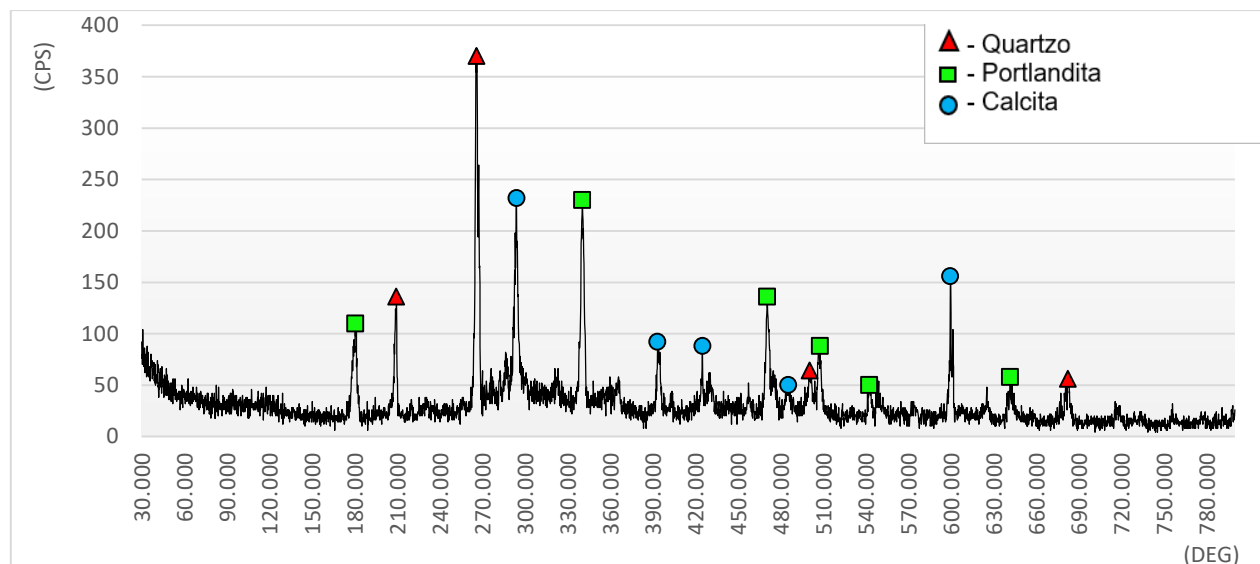
A caracterização da microestrutura, aos 150 dias, da amostra de concreto referência (Figura 5) e contaminado (Figura 6), estão expostos abaixo, respectivamente.

Figura 5: Composição química da amostra referência aos 150 dias.



Fonte: CECAN, 2018.

Figura 6: Composição química da amostra Contaminada aos 150 dias.



Fonte: CECAN, 2018.

As análises através da Difração de Raios-X das amostras referência e contaminada, aos 150 dias, demonstraram apenas a presença de elementos minerais comuns à matriz do concreto, como a Calcita (CaCO_3), o Quartzo (SiO_2) e a Portlandita [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]. Não sendo captada a presença de Etringita e Gipsita, elementos estes, que segundo Barbosa de Souza (2006), são resultados das reações químicas entre o sulfato e o cálcio, formando Gipsita e com as fontes de cálcio e alumínio formando Etringita.

A falta de Etringita e Gipsita nos resultados das análises de Difração de Raios-X pode se dar pela pequena quantidade de sulfatos em relação aos outros reagentes, utilizando a caracterização da água contaminada (Tabela 2) pode-se observar uma concentração de sulfatos de 4285 mg/l, o que resulta em aproximadamente 648 gramas de sulfatos dissolvidos nos 15,12 litros de água utilizadas no traço, combinado com 27 kg de cimento. Formando assim, uma pequena amostra de Etringita e Gipsita, não sendo suficiente para ser captado pela análise DRX.

Outra hipótese pode ser levantada com base no que descreve Souza, 2006 ao se referir ao ciclo envolvendo a transformação monossulfoaluminato em etringita, ao reagir com sulfato de sódio e, após consumir totalmente os sulfatos, regressar a fase original.

A primeira reação química no ataque por sulfato de sódio é a transformação do monossulfoaluminato em etringita, que é formada como microcristais misturados com o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Essa transformação é a reversão de uma reação de hidratação. Durante a hidratação da pasta de cimento Portland, a gipsita, adicionada ao cimento para controlar a pega, combina-se com os aluminatos, formando etringita. Depois que todo o sulfato tiver sido consumido, a etringita é gradativamente convertida em monossulfoaluminato, que é o produto final da hidratação do cimento. (BARBOSA DE SOUZA, 2006)

Isso explicaria a ausência de Etringita e Gipsita nas análises DRX realizadas no presente trabalho. Esta ausência também foi observada em Gonsalves (2016), onde foi utilizado cimento Portland CP IV-32, específico para ambientes agressivos. Além disso, podemos citar também o que foi estudado por Pereira (2015) que cita a falta de estudos

relacionados ao ataque de sulfatos de origem interna, e na imprecisão em descrever a velocidade em que estes ataques ocorrem.

Além das incertezas sobre o mecanismo de formação de etringita e gipsita, não se sabe quais serão as reações e qual a sua velocidade de atuação quando o agente agressivo for de origem interna. (PEREIRA, 2015)

Por ser o concreto, um material predominantemente alcalino, não se aplicam grande parte dos estudos voltados para ataque de sulfatos de origem externa, que usualmente se dão em ambientes predominantemente ácidos.

4 CONCLUSÕES

Conforme apresentado no presente trabalho, a utilização de água contaminada, nas condições apresentadas no mesmo, não teve influência direta na Resistência à Compressão Axial, Resistência à Tração e Módulo de Elasticidade, em idades até 150 dias. Com relação a composição química, as amostras referência e contaminada apresentaram os mesmos minerais, quando expostas ao teste DRX, aos 150 dias. Nos testes de abatimento, a diferença apresentada entre as misturas foi de aproximadamente 10 mm, tendo diminuído a trabalhabilidade, em pequena escala, do traço contaminado. Tendo em vista o exposto, pode-se concluir que os corpos de prova produzidos com cimento Portland CP-II Z 32 comportaram-se bem, até idades de 150 dias, diante aos agentes agressivos presentes na água de amassamento, em específico, aos 4285 mg/l de sulfatos e pH ácido de 2,30.

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar o estudo com idades superiores a 150 dias por meio de aceleração de envelhecimento do concreto.

Manter os corpos de prova concretados com água contaminada em um tanque com a mesma água utilizada na concretagem para realizar a cura de 28 dias.

Realizar o estudo inserindo barras de aço no interior da amostra de concreto.

Analisar a microestrutura do concreto com a utilização do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água para Amassamento do concreto – Parte 2: Coleta de amostra de ensaios:** NBR 15900: 2009. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água para Amassamento do concreto – Parte 3: Avaliação preliminar:** NBR 15900: 2009. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água para Amassamento do concreto – Parte 7: Análise química, determinação de sulfato solúvel em água:** NBR 15900: 2009. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico** NBR 5736: 1991. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone:** NBR NM 67: 1998. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos:** NBR 5739: 2007. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos:** NBR 7222: 2011. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**: NBR 8522: 2008. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**: NBR 5738: 2015. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

SOUZA, Rui Barbosa de. **Sucetibilidade de Pastas de Cimento ao ataque por Sulfatos - Método de Ensaio Acelerado**. 2006. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CIMENTO.ORG. Efeito da qualidade da água no concreto. 2010. Disponível em: <<http://cimento.org/efeito-da-qualidade-da-agua-no-concreto/>>. Acesso em: 06 de abril de 2017.

FARFAN, J. R. J. Zumarán. **Avaliação do Potencial de Drenagem Ácida de Rejeitos da Indústria Mineral**. 2004. 58 p. Rio de Janeiro: Cetem / Mct, 2004.

GONSALVES, Gabriel da Rosa. **Análise Da Influência Da Água De Amassamento Contaminada Por Elementos Químicos Oriundos De Mineração De Carvão Nas Propriedades Do Concreto**. 2016. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unesc, Criciúma, 2016.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1997. SOUZA, R. B.

Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque de sulfatos – método de ensaio acelerado. 2006. 139P. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, Eduardo. **INVESTIGAÇÃO E MONITORAMENTO DO ATAQUE POR SULFATOS DE ORIGEM INTERNA EM CONCRETOS NAS PRIMEIRAS IDADES**. 2015. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia & Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

KULISCH, Daniele. **ATAQUE POR SULFATOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2011. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Cap. 6.

WERITZ, F.; TAFFE, A.; SCHAURICH, D.; WILSCH, G. **Detailed depth profiles of sulfate ingress into concrete measured with laser induced breakdown spectroscopy**. Constructon and Building Materials. vol. 23, pp. 275 – 283, 2009.