

Avaliação de Sistemas de Reparo de Superfícies de Concreto Úmidas de UHE's

J. R. S. Pinho, UFPA; L. A. G. Bitencourt Jr., UFPA; G. Pinheiro, REDE CELPA; M. S. Barata, FACI e R. M. de Souza, UFPA.

Resumo – Para que seja garantida a eficiência de um sistema de reparo, deve-se atentar para que este apresente resistência mecânica satisfatória à solicitação que lhe é imposta, bem como, não menos importante, uma aderência suficiente para impedir o descolamento entre o material e o seu substrato. Assim, este artigo apresenta uma avaliação de diversos materiais de reparo em estruturas de concreto frente à abrasão hidráulica e o desempenho de outros produtos quanto à adesão em concretos apresentando superfícies úmidas. Foram realizados ensaios de abrasão hidráulica em corpos-de-prova (cp's) de concreto de 300 mm de diâmetro e 50 mm de altura, de acordo com o procedimento do laboratório de concreto de FURNAS Centrais Elétricas. Os ensaios de aderência foram realizados com a compressão de cp's cilíndricos de concreto de 100x200 mm, colados através de uma junta diagonal de medindo 60° com a horizontal. Os resultados demonstram que os compostos de base cimentícia constituem uma boa solução para os reparos.

Palavras-chave—Abrasão, Aderência, Argamassas, Concreto, UHE's.

I. INTRODUÇÃO

Usinas Hidrelétricas (UHE's) representam um fator de agregação econômica, política e social à região na qual estão inseridas. Considerando este fato, a manutenção de usinas hidrelétricas deve ser um item a ser considerado primordial face às recentes tragédias ocorridas com barragens e mesmo com obras civis (as ruínas da barragem de Camará e do edifício Areia Branca). Além disso, uma simples interrupção no funcionamento de uma das turbinas é suficiente para prejudicar a população que utiliza a sua energia.

Nesse contexto, a UHE de Curuá-Una, situada no noroeste do estado do Pará, apresenta sintomas patológicos no concreto da estrutura da casa de força, mais precisamente erosão deste material, em estágio inicial. Visto que parte da energia da cidade de Santarém, principalmente, provém desta usina, um estudo com vistas a aumentar a vida útil desse concreto está sendo conduzido pela Universidade Federal do Pará (UFPA), em parceria com a Centrais Elétricas do Pará S/A - CELPA, concessionária de energia do estado do Pará, através de um projeto P&D intitulado: “Desenvolvimento de

Novas Tecnologias de Reparo para o Problema de Cavitação e Abrasão no Concreto em Usinas Hidrelétricas” [1].

Nesta pesquisa pretende-se obter indicativos para a seleção mais coerente do sistema de reparo mais resistente à erosão hidráulica e da ponte de aderência mais eficiente, através do *slant shear test*.

II. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram, basicamente, cimentos CP I-32 S (para confecção dos cp's de 300x50mm do substrato usados no teste de abrasão) e CP V-ARI (usados nas argamassas de reparo cimentícias, nas pastas adesivas de cimento e nos cp's cilíndricos de 100x200mm dos ensaios de ponte de aderência), seixo fino (equivalente à graduação “0”), brita calcárea de graduação “1”, areia fina comum na região e aditivo hiperplastificante com base de policarboxilatos. Além destes materiais, outros produtos ditos como industrializados foram utilizados nos testes de ponte de aderência; são eles: um adesivo epóxi indicado para aplicação em substratos secos; um *primer* epóxi indicado para aplicação em substratos úmidos e uma resina acrílica indicada para superfícies úmidas.

III. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A. Ensaio de Ponte de Aderência (*Slant Shear Test*)

Para a realização do ensaio de ponte de aderência, utilizou-se cp's cilíndricos de concreto de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura. Este concreto foi dosado para obter resistência de cerca de 50 MPa aos 3 dias de idade, resistência considerada satisfatória para o nível de tensão proposto. Os espécimes eram então imersos em um tanque com água para a correta cura, cortados em um ângulo de 60° com a horizontal (corpo-de-prova em pé), tinham a sua superfície diagonal apicoada com ponteira e/ou talhadeira e depois retornavam para o tanque, onde permaneciam até momentos antes do ensaio. Ao retirar-los da água, procedeu-se a limpeza manual dos mesmos com água e escova de aço, a fim de retirar detritos e sujeiras provenientes do tanque de imersão. Antes da aplicação dos adesivos, os cp's eram encharcados em uma bacia com água limpa, para simular as condições de aplicação do local. Os adesivos eram aplicados segundo as recomendações dos fabricantes (com uma espessura de 1,0 a 2,0 mm, quando espatulados) e em seguida eram preenchidos com um concreto similar ao concreto do substrato. A cura desses corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida.

Este trabalho foi apoiado pela Centrais Elétricas do Pará S/A - CELPA.

J. R. S. Pinho é aluno do curso de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Pará (UFPA) (e-mail: jrodri-gosp@yahoo.com.br).

L. A. G. Bitencourt Jr. é aluno do curso de graduação em Engenharia Civil da UFPA.

M.Sc. G. Pinheiro é Engenheira da CELPA.

M.Sc. M. S. Barata é pesquisador e professor da Faculdade Ideal (FACI).

Ph.D. R. M. de Souza é pesquisador e professor da UFPA.

Os espécimes cortados eram ensaiados à compressão axial e a sua resistência foi comparada com a obtida pelos cp's íntegros, moldados para a devida comparação e posterior

avaliação da eficiência.

Um resumo do programa experimental, com o número de cp's utilizados neste ensaio encontra-se na Tabela I.

TABELA I – PONTES DE ADERÊNCIA DOS DIVERSOS SISTEMAS DE REPARO E MATERIAIS CONSTITUINTES.

CONCRETO DO SUBSTRATO	MATERIAIS CONSTITUINTES DAS PONTES DE ADERÊNCIA	QUANTIDADE DE CP'S POR IDADE	IDADES (DIAS)	SUBTOTAL DE CP'S CORTADOS	SUBTOTAL DE CP'S DE REFERÊNCIA
Resistência à compressão axial igual a 50 MPa	Pasta cimentícia 0% de adição de pozolana.	3	3 e 28	6	6
	Adesivo epóxi para superfície seca.	3	3 e 28	6	
	Primer epóxi para superfície úmida.	3	3 e 28	6	
	Resina acrílica para superfície úmida	3	3 e 28	6	
SUBTOTAL DE CP'S (10x20) =				24	12
TOTAL DE CP'S (10x20) =				36	

B. Ensaio de Abrasão

O ensaio de abrasão de espécimes de concreto foi realizado de acordo com os procedimentos do ensaio CRD-80 [2], realizado pela equipe técnica do laboratório de concreto de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, cujo procedimento é baseado no ensaio padronizado pela norma americana ASTM C1138 – *Underwater method* [3]. No ensaio realizado, foram moldadas “bolachas” de concreto com 300 mm de diâmetro e 50 mm de altura para a confecção dos concretos do substrato (executados com cimento CP I-32 S) e para as argamassas de reparo, com apenas 30 mm de altura, sendo que os outros 20 mm seriam completados com o material de reparo e uma pasta cimentícia (1 parte de cimento + sílica ativa para 0,20 partes de água) para promoção da devida aderência entre os materiais (figura 1). Esta pasta era aplicada com o substrato apicoado com ponteira e/ou talhadeira e saturado, todavia com a superfície seca.

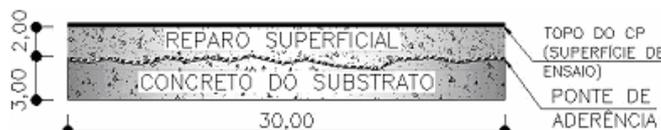


figura 1 – Esquema de aplicação de argamassas de reparo para ensaio de abrasão (medidas em cm).

Após preparados, os corpos-de-prova eram postos na câmara úmida até momentos antes do ensaio. O mecanismo de desgaste era promovido pela ação de esferas de aço depositadas sobre a superfície dos cp's (topo) através da rotação da água na qual o conjunto estava inserido (que por sua vez estava contida em um recipiente metálico de 300 mm de diâmetro, aproximadamente). O peso de cada cp era medido antes do início dos ensaios, às 24, 48 e 72 horas de ensaio, para a verificação do desgaste em percentual relativo ao peso original.

Os materiais utilizados se encontram descrito na Tabela II. Foi confeccionado um par de corpos-de-prova para cada material.

TABELA II – RESUMO DS MATERIAIS UTILIZADOS NO ENSAIO DE ABRASÃO HIDRÁULICA. TRAÇO EM PESO: (AGLOMERANTE:AREIA:RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE:ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE EM % DE CIMENTO)

TIPO DE REPARO	MATERIAIS	ADIÇÃO OU REVESTIMENTO
Reparo Superficial (cavidades com profundidades menores ou iguais a 20 mm)	Argamassa cimentícia.	Sem adição de pozolana (0%) – (1:2,02:0,29:0,90%)
		Com adição de metacaulim (10% em massa de cimento) (1:2,24:0,40:1,58%)
		Com adição de sílica ativa (10% em massa de cimento) (1:2,09:0,25:0,89%)
	Concreto do substrato (referência), com resistência característica em torno de 20 MPa.	Sem revestimento ou adição (Cimento:areia:seixo:água/cimento - 1:1,81:3,34:0,65)

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

A. Ensaio de Ponte de Aderência

A dificuldade para elaboração e utilização de materiais

que preencham os requisitos de aderência e consistência, para a execução na UHE de Curuá-Una, vem da necessidade de certas características para aplicação, pois o substrato se encontra bastante úmido e pode ser necessária a realização de aplicações inclusive em tetos. Portanto, o estudo da aderência e dos materiais que a promovem é tão importante para o reparo quanto a sua própria resistência ao desgaste,

TABELA III – RESISTÊNCIAS MÉDIAS DOS ESPÉCIMES ÀS IDADES DE 3 E 28 DIAS.

ADESIVOS TESTADOS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	Aos 3 dias de idade		Aos 28 dias de idade	
	Pontes de aderência	Referência	Pontes de aderência	Referência
Pasta cimentícia 0% de adição de pozo-lana. (a/c = 0,20)	37,52	45,55	42,50	47,90
Adesivo epóxi para superfície seca.	21,80		25,82	
Primer epóxi para superfície úmida.	12,64		19,95	
Resina acrílica para superfície úmida	17,59		17,88	

A evolução das médias das resistências à compressão axial dos espécimes cortados encontra-se na figura 2, onde nota-se que, na média, todos os exemplares, à exceção dos compostos com resina acrílica para superfícies úmidas, obtiveram aumento de resistência à compressão com o aumento da idade de 3 aos 28 dias. Observa-se, também, que a resistência média já aos 3 dias de idade dos cp's da pasta cimentícia foi superior às resistências aos 28 dias dos exemplares dos materiais industrializados. Restringindo a comparação apenas entre estes materiais industrializados, ocorre algo similar com o epóxi para superfícies secas quando comparado aos dois restantes.

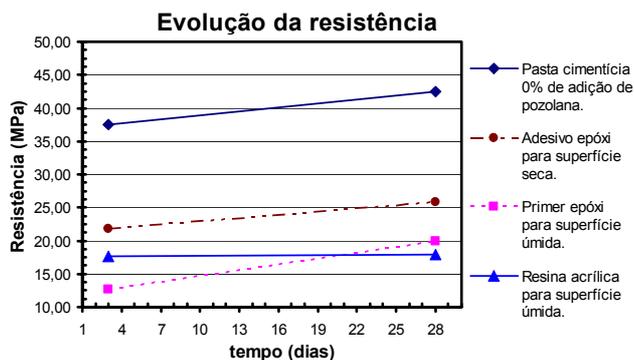


figura 2 – Evolução da resistência média em função do tempo, para os cp's colados.

A ruptura dos espécimes ocorreu *sempre* na junta de adesão, o que caracteriza que nenhuma das pontes de aderência utilizadas promoveu resistência de adesão igual ou superior à resistência dos concretos que elas uniam. A figura 3 apresenta os cp's rompidos com 3 dias de idade, evidenciando a ruptura na junta diagonal. Analisando a forma de ruptura dos exemplares, percebeu-se que o descolamento (ruptura) ocorria sempre entre a pasta adesiva e o concreto velho, ou

principal ação mecânica atuante no revestimento do tubo de sucção da referida UHE.

A Tabela III fornece a média dos valores de resistências à compressão axial obtidos para cada adesivo, para as idades de 3 e 28 dias.

substrato, que se encontrava apicoado e encharcado. Esta condição foi bastante significativa no desempenho dos adesivos epóxi e acrílico, afetando-o negativamente.



figura 3 – Espécimes adesivos industrializados, rompidos aos 3 dias, demonstrando ruptura na junta, especialmente entre o concreto do substrato e o adesivo.

A figura 4 compara as resistências médias obtidas pelos corpos-de-prova colados através das pontes de aderência com a resistência média do concreto de referência, para as idades de 3 e 28 dias. Nota-se, primeiramente, que nenhum dos materiais obteve resistência igual aos cp's íntegros, de referência. Vale ressaltar que a resistência aos 28 dias de idade destes apresentou pequeno aumento de resistência, sendo que aos 3 dias de idade a resistência era aproximadamente 95% desta referida grandeza aos 28 dias. Desempenho análogo foi observado na pasta cimentícia, onde a resistência aos 3 dias foi cerca de 88% do valor aos 28 dias. Este comportamento pode ser explicado pelo uso do cimento de alta resistência inicial CP V - ARI e pela baixa relação água/cimento desses materiais.

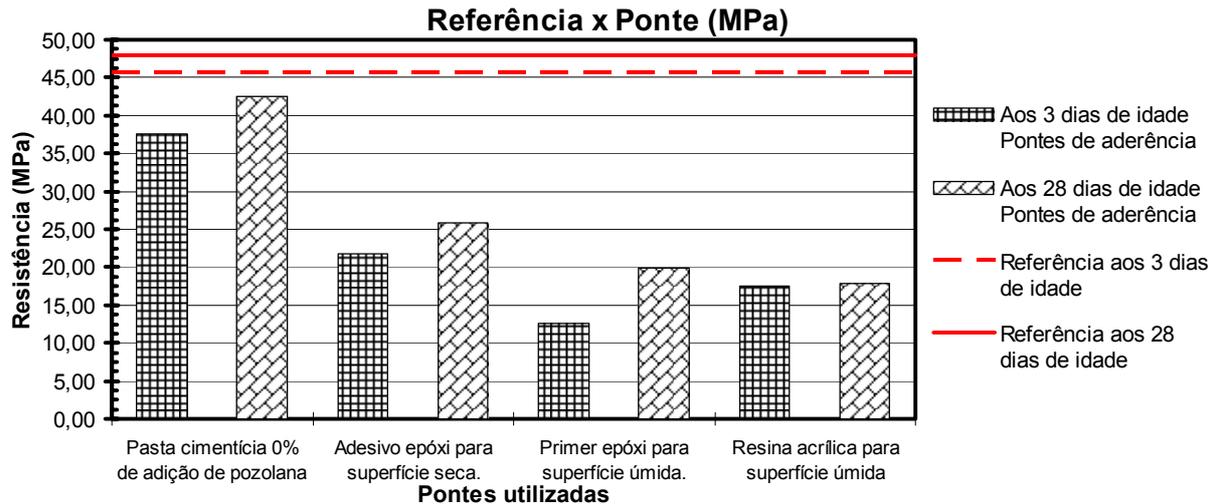


figura 4 – Comparação das resistências dos concretos de referência com as obtidas pelas respectivas pontes de aderência realizadas, para as idades de 3 e 28 dias.

Para uma avaliação mais precisa da eficiência dos adesivos aqui estudados, fez-se uso da porcentagem, sendo que o valor alcançado pelo concreto de referência, em determinada idade foi considerado como 100%. A Tabela IV apresen-

ta os valores dessa relação e a figura 5 ilustra o desempenho aos 3 e 28 dias das pontes confeccionadas e relação à média das resistências dos cp's de referência.

TABELA IV – EFICIÊNCIA MÉDIA DOS EXEMPLARES, EM PORCENTAGEM, AOS 3 E 28 DIAS.

ADESIVOS TESTADOS	Eficiência, em porcentagem			
	Aos 3 dias de idade		Aos 28 dias de idade	
	Pontes de aderência	Referência	Pontes de aderência	Referência
Pasta cimentícia 0% de adição de pozolana	82,37%	100,00%	88,73%	100,00%
Adesivo epóxi para superfície seca	47,86%		53,90%	
Primer epóxi para superfície úmida	27,75%		41,65%	
Resina acrílica para superfície úmida	38,62%		37,33%	

Da Tabela IV constata-se que todos os valores de resistência das pontes de aderência foram inferiores aos do concreto de referência. Assim como na análise das resistências, o melhor desempenho verificado foi da pasta cimentícia, a qual resultou em cerca de 82% e 89% da resistência do concreto de referência, para as idades de 3 e 28 dias, respectivamente. Tais dados são animadores, pois, apesar de esta-

rem abaixo do nível de 90% estabelecido por Kriegh (1976) *apud*. [4], comprovam que o adesivo cimentício comportou-se muito bem frente às condições encontradas no substrato (encharcado). Dada à proximidade dos valores (89% - 90%), pode-se dizer que, aos 28 dias, a pasta cimentícia sem adição de qualquer pozolana estabeleceu aderência satisfatória entre o substrato e o concreto novo.

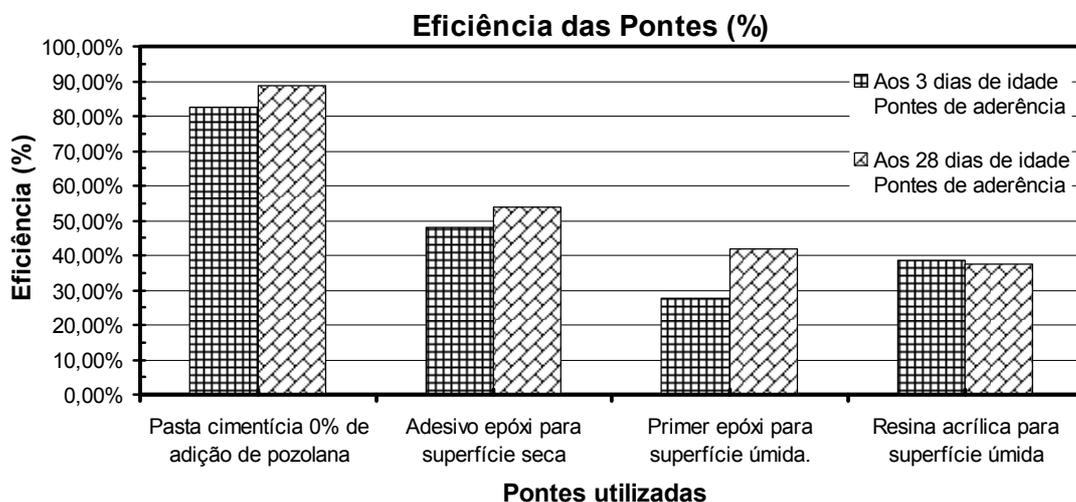


figura 5 – Eficiência das pontes de aderência em relação ao respectivo concreto de referência, em porcentagem.

Na figura 5 comprova-se que o desempenho da pasta cimentícia foi bem superior aos demais, em todas as idades estudadas. Novamente, o adesivo epóxi para superfícies secas apresentou o melhor desempenho, aos 3 e 28 dias, entre os materiais epóxi e acrílico, alcançando cerca de 48% e 54% de eficiência, respectivamente às idades mencionadas. Aos 3 dias de idade, o pior desempenho foi do *primer* epóxi para superfícies úmidas com apenas 28%, aproximadamente. Aos 28 dias, o adesivo menos eficiente foi a resina acrílica para superfícies úmidas, ocorrendo, inclusive redução na sua eficiência em relação à mesma com 3 dias de idade. Isto se deve ao fato de que a resistência deste material praticamente não progrediu no período de 3 a 28 dias. Como a resistência do concreto de referência aumentou neste intervalo de tempo, a eficiência da referida ponte foi reduzida ao patamar de 37%, aproximadamente.

Essa ineficiência dos materiais industrializados pode ser explicada pelas condições em que se encontravam os substratos: saturados e com a superfície bastante úmida. Sabe-se, também, que há diferenças entre os módulos de elasticidade desses materiais e do concreto, o que pode ter influenciado negativamente o desempenho destes adesivos. Estes fatos não foram constatados para a pasta cimentícia, que se comportou de maneira satisfatória sob as condições supracitadas e ainda apresenta um módulo de elasticidade próximo ao do concreto do substrato.

Pode-se dizer que a pasta cimentícia sem adição de pozo-lana apresentou um desempenho de cerca de 35% superior ao adesivo epóxi para superfícies secas, produto que melhor desempenhou a sua função dentre os ditos industrializados, para ambas as idades estudadas.

B. Ensaio de Abrasão Hidráulica

Em consonância com o ensaio de abrasão, foi realizado um ensaio de compressão axial nos materiais estudados com intuito de estabelecer uma possível relação entre as suas resistências à compressão e ao desgaste.

a) Resistência à compressão axial

Devido ao número de fôrmas e à capacidade da betoneira serem limitados, várias betonadas foram realizadas. A resistência de projeto (f_{ck}) era de cerca de 20 MPa aos 28 dias de idade. A média das resistências dos espécimes aos 28 dias foi de 26,50 MPa. Os cp's ensaiados tinham, na ocasião de início do ensaio, 19 dias de idade.

Realizaram-se ensaios de resistência à compressão axial das argamassas de reparo às idades de 3, 7 e 28 dias com um par de corpos-de-prova cilíndricos de 5x10 cm para cada idade. Os resultados encontram-se na Tabela V, a seguir. Os resultados, exceto para argamassa sem adição de pozo-lana, foram inconsistentes devido à alta tixotropia conferida pelas adições a estas argamassas. Isto dificultou a moldagem dos espécimes.

b) Resistência à abrasão das argamassas de reparo

Para a realização desses ensaios foi produzido um par de cp's de 300x50 mm para cada material e ensaiado por 72 horas em intervalos de 24 horas entre cada medição.

A MÉDIA DOS PESOS DOS CORPOS-DE-PROVA PARA CADA MATERIAL É DADA NA

Tabela VI. Na figura 6 apresentam-se as variações nos pesos dos materiais testados.

TABELA V – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM CP'S DE 5X10 CM.

IDADES (dias)	Resistência à compressão axial (MPa)			
	Pasta cimentícia com 10% de sílica	Argamassa sem adição (0%)	Argamassa com 10% de sílica ativa	Argamassa com 10% de metacaulim
3 dias	79,00	64,20	88,40	48,00
3 dias	64,80	43,30	88,50	51,50
7 dias	-- *	71,30	71,30	52,00
7 dias	-- *	77,40	85,60	45,80
28 dias	-- *	109,50	46,70	28,30
28 dias	-- *	96,80	48,00	20,40

* Não foram moldados mais cp's de pasta cimentícia devido à elevada tixotropia apresentada pelo material, o que dificultou a moldagem.

TABELA VI – PESOS MÉDIOS REGISTRADOS NO DECORRER DOS ENSAIOS.

TIPO	MÉDIAS DOS PESOS DE DOIS CP's (gramas)			
	0 hora	24 horas	48 horas	72 horas
Referência - 20 MPa	7.692,5	7.415,5	7.262,0	7.166,0
Argamassa cimentícia	8.098,0	8.061,0	8.052,0	8.043,5
Argamassa cimentícia - 10% de sílica ativa	7.672,0	7.664,0	7.662,5	7.661,5
Argamassa cimentícia - 10% de Metacaulim	7.596,0	7.575,0	7.493,0	7.409,5

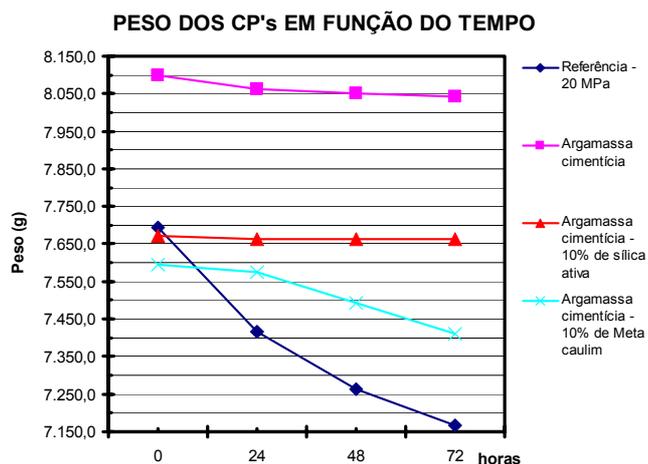


figura 6 – Variação do peso médio dos corpos-de-prova em função do tempo.

A avaliação da perda de peso absoluta, por si só, não é tão ilustrativa. Vale ressaltar que a posição das curvas no gráfico é de pouca importância na análise; mais importante é avaliar a inclinação das curvas de cada material para visualização da evolução do desgaste por abrasão que cada material foi submetido. De acordo com a figura 6, percebe-se que o concreto de referência apresentou um desgaste praticamente linear ao longo do ensaio. Em geral, com exceção da argamassa com metacaulim, o desgaste foi mais acentuado nas primeiras 24 horas de teste, como evidencia a figura 6.

Outra maneira de se avaliar a resistência ao desgaste por abrasão é determinando a porcentagem de peso dos materiais perdida durante o ensaio. Assim, obtêm-se quantidades relativas de desgaste em função do peso de cada material, condicionando a uma comparação mais justa do desempenho de cada material, já que os pesos específicos de todos os materiais foram semelhantes entre si. A Tabela VII, e a figura 7 destacam o desempenho da média de dois corpos-de-prova de cada material ensaiado.

TABELA VII – DESGASTE RELATIVO ACUMULADO, EM PORCENTAGEM, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ENSAIO, EM HORAS.

TIPO	DESGASTE MÉDIO (%)			
	0	24	48	72
Referência - 20 MPa	0,00	3,74	5,93	7,35
Argamassa cimentícia	0,00	0,46	0,57	0,68
Argamassa cimentícia - 10% de sílica ativa	0,00	0,10	0,12	0,14
Argamassa cimentícia - 10% de Metacaulim	0,00	0,28	1,37	2,52

O mesmo comportamento revelado na figura 6 é evidenciado na figura 7, onde pode-se perceber que a argamassa com sílica ativa apresentou reduzido desgaste à abrasão hi-

dráulica

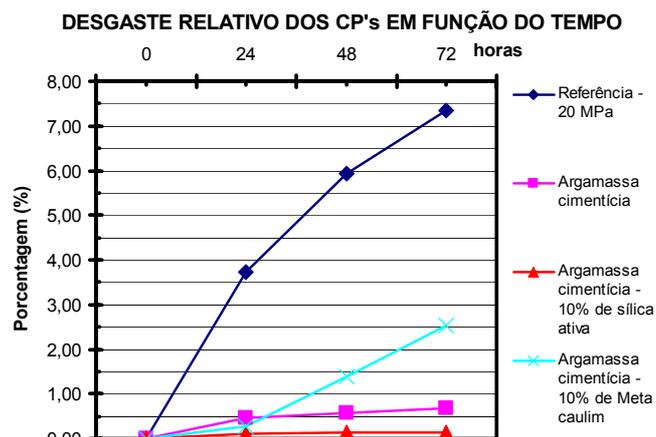


figura 7 – Desempenho dos corpos-de-prova ao longo do ensaio.

Analisando a figura 7 fica evidente que o maior desgaste aconteceu nas primeiras 24 horas, exceto com a argamassa de metacaulim, que se comportou muito bem neste período e depois apresentou desempenho muito aquém do esperado, com cerca de 90% do seu desgaste ocorrendo nas últimas 48 horas de ensaio.

Através da figura 8 pode-se visualizar e comparar o desempenho de cada material em função do tempo.

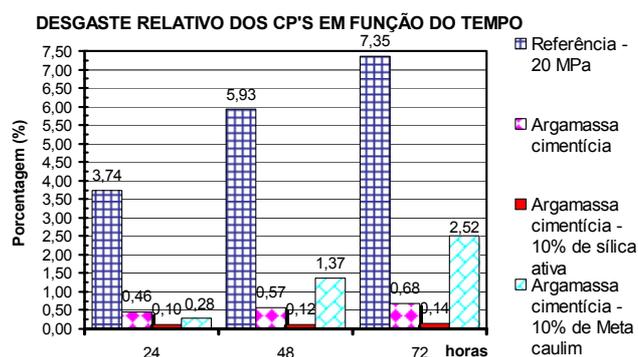


figura 8 – Evolução do desgaste, em porcentagem, com o decorrer do ensaio.

As resistências relativas à abrasão dos reparos produzidos, bem como do concreto utilizado como substrato, de referência, estão dispostas na Tabela VIII, que apresenta, ainda, o traço utilizado para cada material e a respectiva idade de cada um no início do ensaio.

Apesar de terem sido utilizados materiais diferentes, é importante tentar estabelecer uma pequena correlação entre a resistência ao desgaste, a relação água/aglomerante (a/aglom.) e a idade. Esta correlação está representada na figura 9, onde nota-se que a idade pouco influenciou nos resultados e o desgaste por abrasão hidráulica é diretamente proporcional à relação a/aglom., isto é, quanto menor esta relação, menor o desgaste do material.

TABELA VIII – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABRASÃO DAS ARGAMASSAS DE REPARO E DO CONCRETO DO SUBSTRATO ÀS 72 HORAS.

Materiais utilizados	Resistência à abrasão de cp's de 300x50 mm às 72 horas de ensaio (% em peso de material retirado por desgaste)	Traço unitário, em peso aglom:areia:pedra (no concreto): a/aglom: %aditivo (quando houver)	Idade dos cp's no início do ensaio de abrasão (dias)
Concreto de referência (substrato): 20 MPa	7,35%	1:1,81:3,34:0,65	19
Sem adição (0%)	0,68%	1:2,02:0,29:0,90%	13
10% de sílica ativa	0,14%	1:2,09:0,25:0,89%	20
10% de metacaulim	2,52%	1:2,24:0,40:1,58%	17

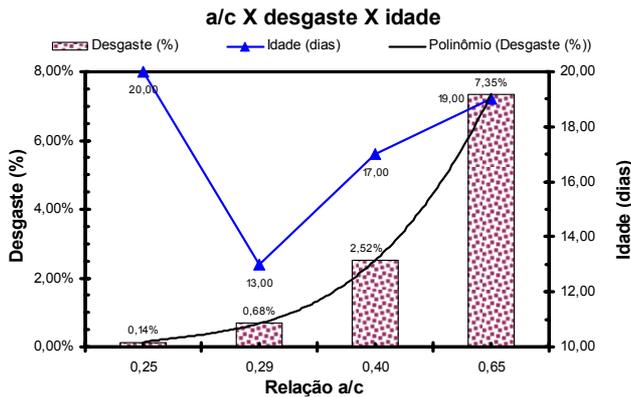


figura 9 – Relação entre o desgaste, a relação a/aglom. e a idade.

A argamassa que apresentou melhor desempenho final quanto ao desgaste foi a argamassa com adição de 10% de sílica ativa que foi cerca de 52 vezes mais eficiente ao desgaste que o concreto de referência. A argamassa sem adição apresentou desempenho satisfatório em cerca de 11 vezes quando comparado ao substrato. A argamassa com adição de 10% de metacaulim apresentou pior desempenho em relação às outras argamassas de reparo ensaiadas, contudo obteve valores de desgaste às 72 horas quase 3 vezes menores que a referência. Era esperado que as argamassas com adições minerais apresentassem desempenhos superiores à sem adição e ao concreto de referência, contudo isto ocorreu apenas em parte, pois a argamassa com adição de metacaulim obteve valores de desgaste muito mais elevados que às outras duas possivelmente pela diferença na relação água/aglomerante (0,40), que foi bem superior às demais. Ao final do ensaio (72 horas), percebe-se uma tendência direta entre a relação água/aglomerante e o desgaste médio sofrido pelos corpos-de-prova, isto é, o desgaste aumentou com o aumento da referida relação. Portanto, para os ensaios realizados neste estudo, a resistência à abrasão foi diretamente proporcional à compressão axial. Assim, percebe-se que a baixa relação a/aglomerante é bem mais influente positivamente na qualidade do material do que a simples adição de um material cimentício suplementar.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A. Ponte de Aderência

☑ Em geral, as resistências dos cp's colados pelos adesivos estudados aumentou com a idade, bem como a resistência do

concreto de referência, comportamento este já esperado. O mesmo não se pode afirmar das eficiências, em relação ao tempo, já que o desempenho da resina acrílica aos 28 dias foi aquém do obtido aos 3 dias.

☑ Todas as rupturas ocorreram no plano inclinado, isto é, na junta diagonal de adesão, entre o substrato e o adesivo, ressaltando, desta maneira, a importância das condições de aplicação da ponte. Logo, uma correta preparação da superfície que receberá o reparo aumentará a probabilidade de sucesso do mesmo em relação à sua aderência.

☑ Os adesivos industrializados recomendados para uso em superfícies úmidas apresentaram desempenho inferior ao sugerido apenas para superfícies secas. Todos estes adesivos obtiveram desempenhos aquém do considerado satisfatório, possivelmente pela elevada umidade do substrato e pelas já conhecidas diferenças entre seus módulos de elasticidade.

☑ Por outro lado, o desempenho da pasta cimentícia sem adição de qualquer pozolana foi considerado satisfatório aos 3 e 28 dias, apresentando, também, os maiores valores de resistências para cada idade. Isto pode ser atribuído pela afinidade de compostos cimentícios com superfícies molhadas e pela semelhança nos valores de módulos de elasticidade com o concreto do substrato.

☑ A eficiência da ponte de pasta cimentícia foi cerca de 35% superior à do adesivo epóxi para superfícies secas – que apresentou melhor desempenho entre os produtos “industrializados” – em ambas as idades estudadas.

B. Abrasão Hidráulica

☑ Quanto às resistências à compressão axial, as argamassas com adições foram prejudicadas pela moldagem deficiente dos corpos-de-prova de 5x10 cm, o que pôde ser verificado através do bom desempenho desses materiais quando submetidos à abrasão.

☑ Logo as primeiras idades (3 dias) foram alcançadas altas resistências à compressão, ratificando a possibilidade de utilização desses materiais como uma boa solução para os reparos a serem utilizados nos tubos de sucção das casas de força da UHE de Curuá-Una.

☑ Estabelecendo uma pequena correlação entre as resistências à compressão e à abrasão, pode-se dizer, com base nos dados contidos neste relatório, que existe uma relação fielmente direta entre ambas. Conseqüentemente, quanto menor for a relação água/aglomerante, menor será o desgaste do material.

☑ Exceto para a argamassa com metacaulim, os desgastes

foram mais acentuados nas primeiras 24 horas de ensaio, variando de cerca de 50% a 71% do desgaste final.

☑ Todos os reparos foram sensivelmente melhores quanto à abrasão quando comparados ao concreto de referência, em especial a argamassa com adição de sílica ativa que apresentou desempenho em torno de 52 vezes superior ao de referência, configurando um reparo extremamente eficiente aos esforços de abrasão solicitados.

☑ A argamassa sem qualquer adição mineral apresentou um ótimo desempenho à abrasão, provavelmente pela alta resistência alcançada, produto da baixa relação água/aglomerante. Os resultados deste material o credenciam a estudos mais detalhados, porém, para aplicações na vertical podem-se encontrar dificuldades de aplicação, pois essa argamassa não apresentou tixotropia suficiente para a aplicação nessas condições. Porém isto pode ser, em parte, corrigido com a diminuição da relação água/aglomerante.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe técnica do laboratório de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS pela realização dos ensaios de abrasão hidráulica

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cada citação deve estar completa e correta. Não haverá verificação deste item, uma referência incompleta ou errada será publicada.

Periódicos:

- [1] BARATA, M. S, DE SOUZA, R. M. “Desenvolvimento de Novas Tecnologias de Reparo para o Problema de Cavitação e Abrasão no Concreto em Usinas Hidrelétricas”, Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, convênio Universidade Federal do Pará /Fadsp/Rede Celpa.
- [2] SANTOS, S. B. dos; ANDRADE, M. A. S. de; BITTENCOURT, R. M. Relatório DCT.T.01.112.2004-R0 – Universidade Federal do Pará – UFPA: Ensaio de Abrasão/erosão em corpos-de-prova de concreto com argamassa. Relatório Técnico. 6p. Novembro, 2004
- [3] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – Committee 210. Erosion of Concrete in Hydraulic Structures, ACI Materials Journal. Title nº 84-M17, p. 136-157, 1987. March – April.
- [4] GARCIA, S. R. A.; CLÍMACO, J. C. T. S. Eficiência da aderência de materiais de reparo para estruturas de concreto. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Anais... Foz do Iguaçu - Paraná – Brasil. 2001. 11 p