

## Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos de Pós Reativos com uso de nanossílica.

Laura Alpe Coppetti <sup>a \*</sup>, Matheus Bittencourt Wilges <sup>b</sup>, Paola Nadine Johann Külzer <sup>c</sup>, Alessandro Soardi <sup>d</sup>, Bóris Casanova Sokolovicz <sup>e</sup>, Nelson Seidler<sup>f</sup>.

<sup>a</sup> *Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

<sup>b</sup> *Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

<sup>c</sup> *Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

<sup>d</sup> *Engenheiro Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

<sup>e</sup> *Professor Mestre em Engenharia Civil na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

<sup>f</sup> *Professor Mestre em Engenharia Civil na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.*

e-mails: laura-alpe@hotmail.com, wilgesmatheus@gmail.com, pnjhannk@gmail.com, alessandro.soardi@hotmail.com, boriscs@san.uri.br, seidler@santoangelo.uri.br

---

### Resumo

Com o grande avanço tecnológico na construção civil foi possível obter concretos com altas resistências, durabilidade, ductibilidade e energia de fratura, pontos importantes para obras que necessitam estas propriedades, contexto do qual surge o concreto de pós reativos (CPR). Logo, o objetivo da presente pesquisa é verificar a utilização da nano-sílica como adição mineral para CPR, e verificar sua influência nas propriedades mecânicas do mesmo através de ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, resistência à compressão diametral e ensaio de módulo de elasticidade. Foram moldados corpos de prova dosados com o auxílio do Software EMMA, considerando o conceito de empacotamento de partículas, onde os mesmos foram baseados no traço proposto por Richard e Cheyrezy (1995), sendo um o traço referência e os demais com adição de nano-sílica nas proporções de 1%, 2 %, 3 % e 4 % respectivamente, e ambos os traços contêm fibra de aço de 7,5 mm de diâmetro. Ambos traços apresentaram altos valores para os ensaios realizados, destacando a resistência à tração na flexão.

**Palavra Chave** – Concreto de pós reativos, Nanossílica, Resistência à tração na flexão.

### 1. Introdução

É fato notório e consumado que vivemos em uma época de constantes evoluções, onde tais avanços ocorrem em uma velocidade jamais antes vista pela humanidade. Diante deste contexto global, a engenharia e ciência dos materiais se mostra como um ambiente fértil para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. No que tange a materiais de construção temos como principal avanço o advento de materiais de ultra alto desempenho, tendo como principal objeto de estudo o concreto de pós reativos (CPR). De acordo com RICHARD e CHEYREZY (1995) o CPR é obtido através de princípios básicos tais como baixíssima relação água/aglomerante, aumento da homogeneidade através da ausência de agregados graúdos, aumento da densidade relativa, além do uso de fibras para aumentar a ductilidade e tenacidade do compósito. Diante de tal contexto o

\*Autor em correspondência.

presente trabalho tem por objetivo verificar a influência da Nanosílica sobre a resistência a tração e a compressão de concretos de pós reativos.

## **2. Texto Principal**

O concreto de pós reativos como conhecemos hoje foi desenvolvido na França e no Canadá na década de 90, oriundo do esforço simultâneo de diversos pesquisadores da área do concreto. Sua proposta era produzir um material que superasse as propriedades do CAD, o resultado foi um produto com elevadíssima resistência, alta ductilidade, e considerável durabilidade Tutikian et al (2011). Do ponto de vista macroestrutural o CPR se difere dos demais tipos de concreto, pois sua relação água/aglomerante é consideravelmente inferior, além disso nota-se a ausência de agregado graúdo, o que lhe concede uma homogeneidade superior, também é estritamente necessário realizar um estudo da granulometria dos materiais envolvidos no processo, com o intuito de aumentar a densidade relativa do compósito, e como consequência diminuir os vazios e falhas da mistura. O agregado miúdo deve ser preferivelmente de quartzo, devido a boa resistência da rocha mãe, no que diz respeito ao cimento é preferível um cimento não tão fino para reduzir a demanda de água, também é importante que o cimento escolhido seja o mais puro possível, e preferencialmente com um baixo teor de C3A, devido ao fato de que das fases do cimento é a que apresenta maior reatividade com a água liberando grande quantidade de calor RICHARD e CHEYREZY (1995). Segundo Aitcin (2008) as matrizes de CPR apresentam comportamento puramente elástico e ruptura Frágil, se aproximando de materiais cerâmicos no que tange ao seu comportamento mecânico, com o intuito de melhorar a ductilidade são empregadas fibras metálicas no concreto, de forma que sua quantidade não ultrapasse 2.5% em volume.

### *2.1. Nanossílica*

Diante da demanda atual novos produtos a base de alta tecnologia estão sendo empregados na construção civil, com o intuito de otimizar as propriedades dos atuais materiais, dentre eles podemos citar os plastificantes de última geração a base de Éter policarboxílico que reduzem consideravelmente a demanda de água para uma mesma trabalhabilidade. Outro material que possibilita explorar novos horizontes para os concretos é a nanosílica, que nada mais é que sílica amorfa altamente reativa, porém com um tamanho reduzido, conferindo ao compósito maior resistência, uma melhor durabilidade, e uma maior coesão quando comparado a um concreto sem esse material. O segredo da nanosílica está no diâmetro e na esfericidade de suas partículas, uma vez que seu tamanho médio vai de 3 a 200nm, enquanto a sílica ativa convencional com um diâmetro médio de 10µm. Para poder trabalhar com um material tão fino a Sílica já vem dispersa em um superplastificante a base de policarboxilato, sendo que além das propriedades mecânicas superiores, esse aditivo também auxilia na trabalhabilidade e na manutenção da mesma.

## **3. Metodologia**

### *3.1. Caracterização dos materiais*

#### *3.1.1. Cimento*

O cimento utilizado foi o Cimento Branco Estrutural com resistência característica de 52,5 MPa, da marca CEMEX. Apresentou bom comportamento no ensaio do funil de Marsh, conferindo boa

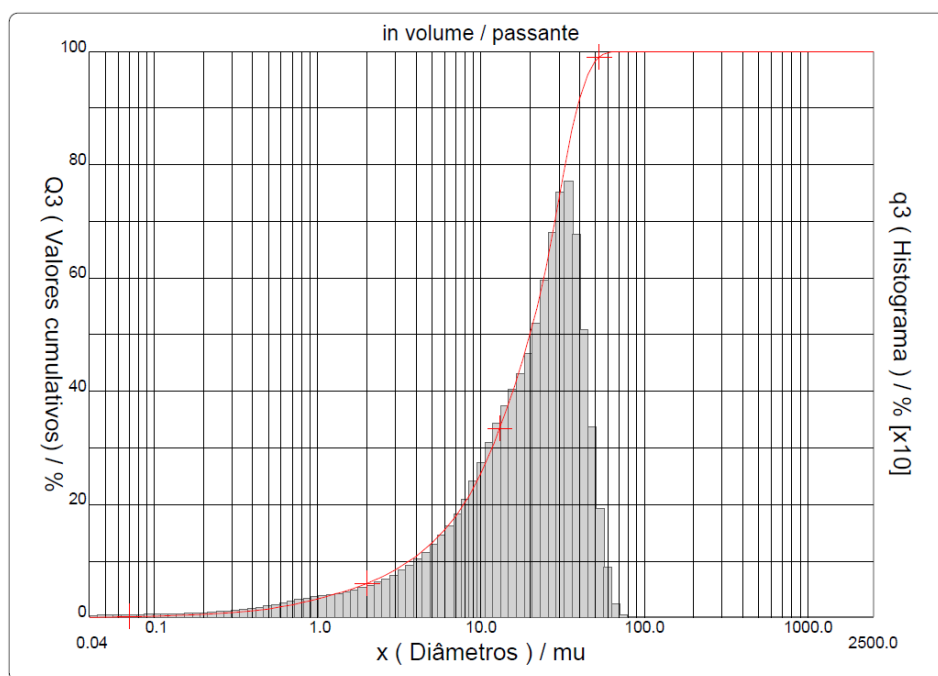
trabalhabilidade à mistura mesmo em fatores a/c muito baixos. A Tabela X apresenta algumas propriedades físicas do cimento.

**Tabela 1- Características do Cimento Branco**

Resistência à compressão (MPa)				Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)	Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
24h	3 dias	7 dias	28 dias			
28	36,1	45,1	53,1	59	203	4150

Fonte: CEMEX.

O diâmetro médio das partículas é de 20,86 µm, a Figura 1 mostra o histograma da distribuição granulométrica do material.



**Fig. 1. Granulometria a laser do cimento branco**

### 3.1.2. Sílica Ativa

A Sílica ativa utilizada nessa pesquisa é proveniente da empresa Adsil, sendo uma sílica ativa líquida, com um teor de SiO<sub>3</sub> de aproximadamente 95% com uma massa específica de 1,38g/cm<sup>3</sup> com diâmetro das partículas entre 10nm a 1µm.

### 3.1.3. Água

A água utilizada na produção do CPR é proveniente da rede de distribuição da empresa de saneamento básico local, sendo composta inteiramente por gelo triturado manualmente.

### 3.1.4. Areia Industrial

A areia utilizada foi fornecida pela empresa Mineração Jundu. Possui 0,28 mm de diâmetro médio dos grãos. Apresenta massa unitária de 1,45 kg/dm<sup>3</sup> e massa específica de 2,64 kg/dm<sup>3</sup>. A tabela 4 apresenta a análise granulométrica da areia, e a tabela 5 apresenta a análise química da areia

**Tabela 2. Granulometria da areia industrial**

Peneira (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
0,825	0,0	0,0
0,600	0,4	0,4
0,425	7,5	7,9
0,300	29,1	37,0
0,212	35,5	72,5
0,150	20,4	92,9
0,106	6,6	99,5
0,075	0,4	99,9
0,053	0,1	100,0
Fundo	0,0	100,0

Diâmetro máx. caract.:  $\phi_{\text{máx}} = 0,6 \text{ mm}$

Módulo de Finura: MF = 1,303

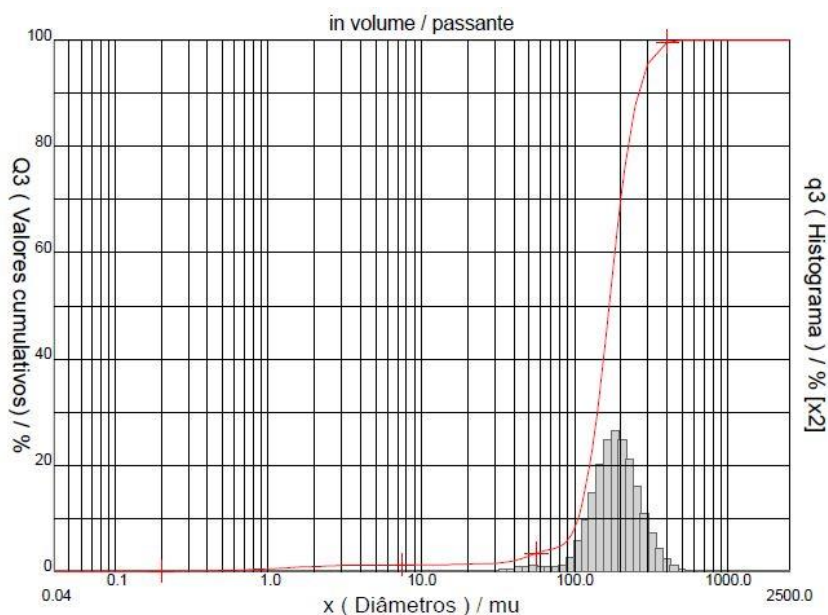
Classificação: Areia Muito Fina (Zona 1)

Fonte: Mineração Jundu

**Tabela 3. Caracterização química da areia industrial**

%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%MnO <sub>2</sub>	%ZrO <sub>2</sub>	%Perda ao fogo	%SiO <sub>2</sub>	pH
0,25	0,12	0,055	0,001	0,013	0,14	99,42	6,7

Fonte: Mineração Jundu



**Fig. 2. Granulometria a laser da areia industrial**

### 3.1.5. Pó de Quartzo

O pó de quartzo a ser utilizado também é proveniente da Mineração Jundu, que o comercializa com o nome Sílica Moída. A análise granulométrica está presente na Tabela 7 e a Tabela 8 apresenta a análise química do pó de quartzo.

**Tabela 4. Análise granulométrica do pó de quartzo**

Peneiras ASTM E-11	Abertura (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
100	0,150	0,00	0,00
140	0,106	0,06	0,06
200	0,075	0,045	0,51
325	0,045	7,00	7,51
<325	<0,045	92,49	100,00

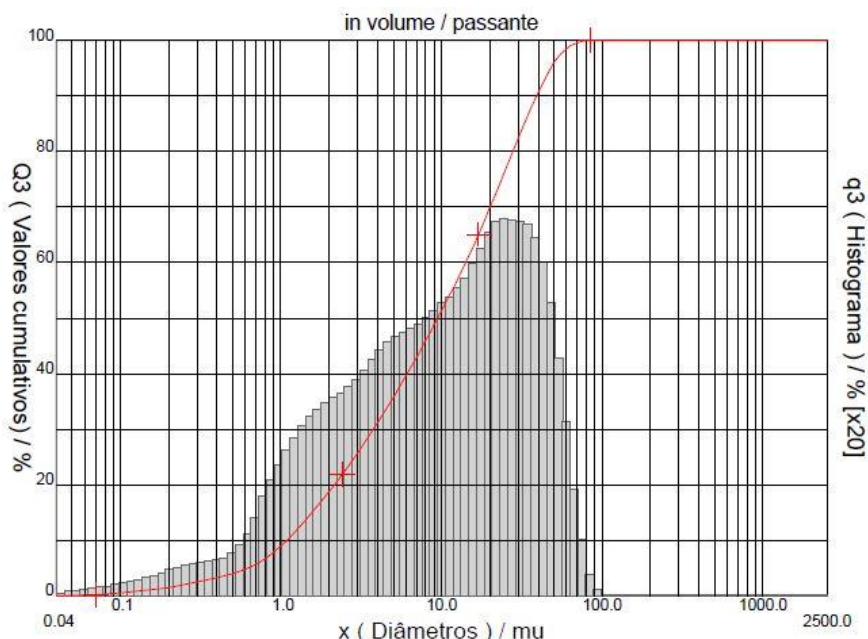
Fonte: Mineração Jundu

**Tabela 5: Análise química do pó de quartzo**

%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%P.F.	%SiO <sub>2</sub>
0,025	0,057	0,02	0,11	99,73

Fonte: Mineração Jundu

O diâmetro médio do material foi obtido através do ensaio de granulometria a laser, sendo seu valor 15,33 µm e sua distribuição demonstrada na figura 4.



**Fig. 3. Granulometria a laser pó de quartzo**

### 3.1.6. Superplastificante

O produto empregado nessa pesquisa foi um superplastificante cujo nome comercial é TecFlow 8000, o mesmo é fabricado pela empresa Rheotec Aditivos de Concreto da marca GRACE. O manual do produto especifica que é um superplastificante de 3º geração feito com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado Sua massa específica está entre 1,080 g/cm<sup>3</sup>, e teor de sólidos de 49%.

### 3.1.7. Nanosílica

O material utilizado foi a Silicon ns high 200 que se trata de um aditivo líquido superplastificante à base de policarboxilato modificado com nanosílica estabilizada. A nanosílica estabilizada dispersa homogeneamente no concreto fresco gera uma rede de produtos de reação similares aos do cimento Portland, mas com propriedades físico-mecânicas e químicas melhoradas.

### 3.2. Dosagem do Concreto de Pós Reativos (CPR)

O traço utilizado na presente pesquisa foi desenvolvido através de uma adaptação do traço desenvolvido por Richard e Cheyrezy em seu trabalho referência sobre o CPR e suas propriedades. Segue na tabela 6 os materiais e suas quantidades.

**Tabela 6. Tabela Adaptada de Traço Richard e Cheyrezy (1995).**

	CPR200				CPR800	
	Sem Fibra		Com fibra		Agregados de Sílica	Agregados de Aço
Cimento Portland	1	1	1	1	1	1
Sílica Ativa	0,25	0,23	0,25	0,23	0,23	0,23
Areia 150-600 $\mu m$	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	-
Pó de Quartzo $d_{50}=10\mu m$	-	0,39	0,016	0,39	0,39	0,39
Superplastificante (Poliacrilato)	0,016	0,019	0,175	0,019	0,019	0,019
Fibra de aço L=12mm	-	-	-	0,175	-	-
Fibra de aço L=3mm	-	-	-	-	0,63	0,63
Agregado de aço <800 $\mu m$	-	-	-	-	-	1,49
Água	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19
Pressão de Compactação	-	-	-	-	50MPa	50MPa
Temperatura de Tratamento Térmico	20°C	90°C	20°C	90°C	250-400°C	250-400°C

Fonte: Richard e Cheyrezy (1995).

A dosagem resultante e utilizada no presente trabalho segue na tabela 7 onde são apresentados todos os materiais descritos no item 3.1

**Tabela 7. Traço de CPR utilizado**

Materiais	Traço 0%	Traço 1%	Traço 2%	Traço 3%	Traço 4%
Cimento Branco	1	1	1	1	1
Sílica Líquida	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195
Areia Industrial	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Pó de Quartzo	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fibra Metálica	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nanosílica	0	0,01	0,02	0,03	0,04
Superplastificante	0,04	0,03	0,02	0,01	0
Água	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875

### 3.3. Moldagem dos Corpos de Prova

Para o presente trabalho foram confeccionados corpos de prova 5x10 para o ensaio de resistência a compressão axial e corpos de prova prismáticos 4X4X16 para o ensaio de resistência a tração de argamassa, de modo que fossem realizados os ensaios nas datas de 7,14, e 28 dias para resistência a compressão, e 28 dias para o ensaio de tração na flexão. Para todos os traços foi realizado o mesmo processo de moldagem que consiste em realizar uma pré-homogeneização de todos os materiais secos, e em seguida adicionar o gelo, a Sílica Líquida, o superplastificante e a Nanosílica, misturar manualmente por cerca de 3 minutos, e após verificar o aspecto visual levar até a argamassadeira planetária por aproximadamente mais 15 minutos. Quando a mistura atingiu a trabalhabilidade desejada foram adicionadas as fibras metálicas. Após o término da moldagem todos os corpos de prova foram vedados e colocados dentro da cura úmida onde permaneceram por 24 horas, em seguida os mesmos foram desmoldados e imersos em água até a data prevista para ruptura.

## 4. Conclusão

Seguem nas tabelas e gráficos abaixo os valores de resistência a compressão axial segundo a norma NBR 5739 (2007) e os valores de resistência a tração na flexão de acordo com a norma NBR 7222(2011). Foi possível perceber uma pequena variação nos resultados de resistência à compressão, resultado já esperado, uma vez que devido ao fato de a Nanosílica estabilizada apresentar diâmetro muito inferior aos demais materiais ela apresentaria maior contribuição na resistência à tração que à compressão. No que tange a resistência a tração se verificou pequena variação, isto ocorreu devido ao grande volume de fibras utilizado, de forma que a Nanosílica teve pouca influência nos resultados apresentados. Porém os valores obtidos no presente trabalho foram inferiores aos registrados na literatura, a explicação para isto está presente na não utilização da cura térmica nesse trabalho, devido ao diâmetro e comprimento elevado das fibras para utilização em concreto de pós reativos, o uso de cura em temperaturas elevadas aliado ao uso das fibras poderia causar fissuração interna pois o coeficiente térmico dos materiais é diferente.

**Tabela 8. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 0%**

Traço 0%				
Idades	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	KN	MPa
7 dias	93,89	184,3526	-	-
14 dias	124,97	245,378	-	-
28 dias	137,495	269,9708	9,5333	22,38

**Tabela 9- Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 1%**

<b>Traço 1%</b>				
<b>Idades</b>	<b>Resistência à compressão</b>		<b>Resistência à tração na flexão</b>	
	<b>MPa</b>	<b>KN</b>	<b>KN</b>	<b>MPa</b>
7 dias	94,985	186,5026	-	-
14 dias	120,53	236,6601	-	-
28 dias	135,08	265,229	8,4666	20,8359

**Tabela 10. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 2%**

<b>Traço 2%</b>				
<b>Idades</b>	<b>Resistência à compressão</b>		<b>Resistência à tração na flexão</b>	
	<b>MPa</b>	<b>KN</b>	<b>KN</b>	<b>MPa</b>
7 dias	101,04	198,3916	-	-
14 dias	121,125	237,8284	-	-
28 dias	135,05	265,1701	11,02	25,8281

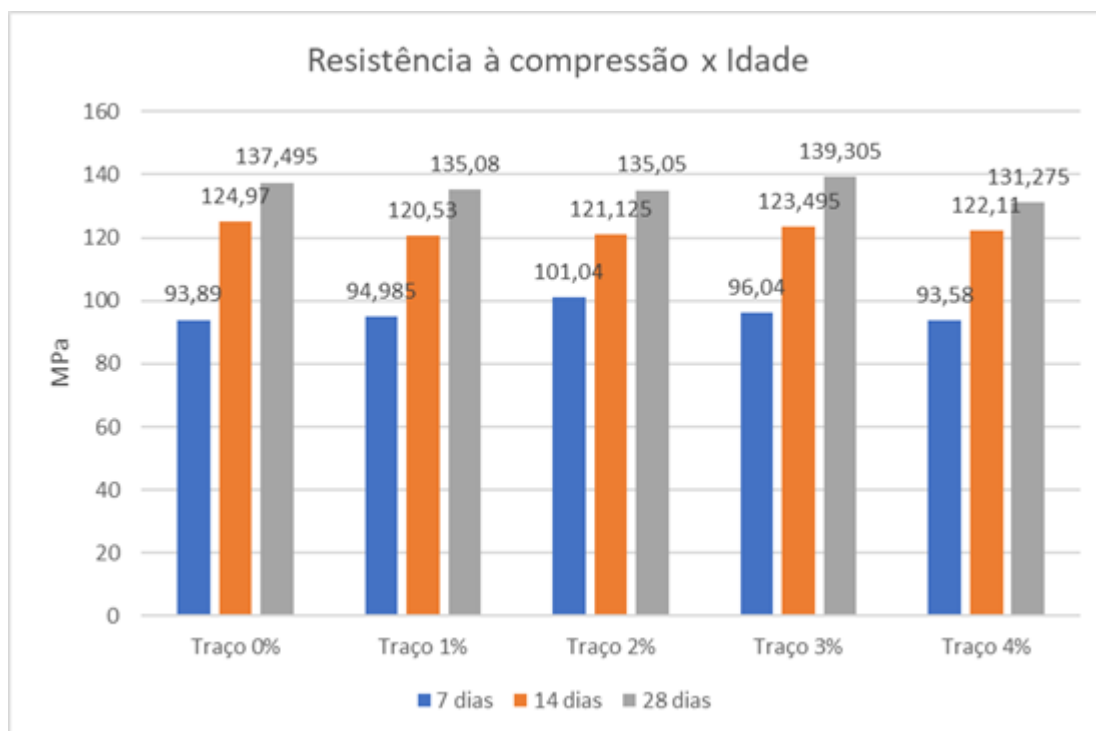
**Tabela 11. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 3%**

<b>Traço 3%</b>				
<b>Idades</b>	<b>Resistência à compressão</b>		<b>Resistência à tração na flexão</b>	
	<b>MPa</b>	<b>KN</b>	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>
7 dias	96,04	188,5741	-	-
14 dias	123,495	242,4819	-	-
28 dias	139,305	273,5247	10,92	25,59375

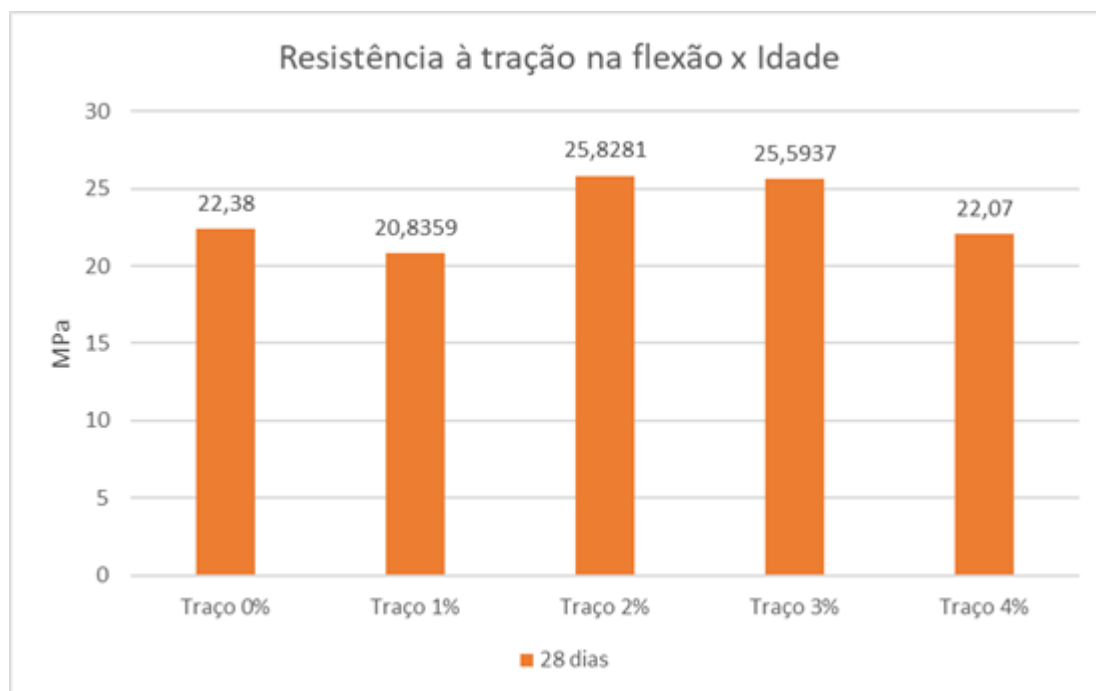


**Tabela 12. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 4%**

Traço 4%				
Idades	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	KN	MPa
7 dias	93,58	183,74	-	-
14 dias	122,11	239,76	-	-
28 dias	131,275	257,76	9,42	22,07



**Fig. 4. Comparativo entre as resistências à compressão de acordo o teor de nanosílica utilizado**



**Fig. 5. Comparativo entre os valores de resistência à tração na flexão de acordo com o teor de nanosílica utilizado**

A engenharia civil passa por constantes evoluções, tanto do ponto de vista de cálculos, e métodos de dimensionamento quanto de materiais para construção. O presente trabalho comprovou a elevada resistência à tração e à compressão que este revolucionário compósito possui, além de mostrar que é plausível a utilização da Nanosílica estabilizada como aditivo químico com o intuito de melhorar ainda mais as propriedades do concreto.

O CPR vem se mostrando ao longo da última década como a evolução em termos de resistência à compressão e durabilidade, porém pouco sabemos ainda sobre a cinética das reações que ocorrem devido a uma relação água/cimento tão baixa, e tão pouco sobre qual o potencial real deste material e como utiliza-lo para deixar de ser algo de estudo apenas acadêmico para ser utilizado de maneira mais ampla pela indústria

## Referencias

- [1] \_\_\_\_\_. NBR 5739: concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [2] \_\_\_\_\_. NBR 7222: argamassa e concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011
- [3] Isaia, G.C., Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1283-1325. V.2.
- [4] Aitin, P.C. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo: Pini, 2000.
- [5] Mehta, P. K., Monteiro, P..M., Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2 ed. São Paulo, Ibracon, 2014.
- [6] Richard, P., Cheyrezy, M, Composition of Reactive Powder Concretes. Cement and Concrete Research. V. 25, n. 7. P.1501-1511.