



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

KAMIRÃ BARBOSA RIBEIRO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR PENTÓXIDO DE NIÓBIO NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS**

BRASÍLIA

2019



KAMIRÃ BARBOSA RIBEIRO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR PENTÓXIDO DE NIÓBIO NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa

Orientação: Maria José de Souza Serafim

BRASÍLIA

2019

RESUMO

A incorporação de Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) nos cimentos contribui de várias maneiras para melhorias na resistência, na impermeabilidade, na durabilidade do material e de concretos com elevado desempenho de forma geral. Por outro lado, observa-se a necessidade de estudos direcionados à geração de aplicações tecnológicas a novos materiais, como os compostos de nióbio, frente à grande disponibilidade destes no Brasil. É evidente que o desenvolvimento de tecnologias que utilize esse elemento e seus compostos é crucial para um melhor aproveitamento e valorização dessa reserva que o país possui. Neste contexto, o presente trabalho busca investigar a influência da adição de diferentes teores de óxido de nióbio(V) anidro e hidratado, em argamassas preparadas com cimento Portland, os efeitos causados pela associação desses materiais nas misturas cimentícias e sua relação com as propriedades de resistência mecânica, em variadas idades. Para tal preparou-se argamassas com adição de diferentes teores de óxido de nióbio(V) anidro e hidratado e, finalmente, avaliou-se o desenvolvimento da resistência à compressão da cada argamassa até os 28 dias, de acordo com a NBR 7215. Os resultados de resistência aumentaram, nas idades de 1, 3 e 7 dias para o traço de 1% do óxido hidratado, sendo o resultado com 7 dias maior que a referência. Para o teor de 3% do óxido hidratado, o maior resultado da resistência ocorreu aos 28 dias. O óxido anidro apresentou maiores resultados nas propriedades mecânicas nos teores de 1 e 10% aos 28 dias de idade, porém todos menores que a referência. Estes resultados eram esperados pois, com o aumento da idade aumenta a resistência das argamassas. De forma geral, a maior resistência será na maior idade.

Palavras-Chave: Argamassa. Óxido de Nióbio. Resistência à compressão.

BRASÍLIA

2019



Dedico este trabalho aos meus avós Scheilla do Nascimento Barbosa Horta e Newton de Góes Horta.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha orientadora, Maria José de Souza Serafim, pelo incentivo, disponibilidade e apoio ao longo de todo o período da iniciação científica.

Ao meu amigo Thales Martins de Andrade, por me conceder a honra de continuar o seu caminho trilhado na pesquisa do Óxido de Nióbio(v) como substituição do cimento em argamassas.

Aos meus amigos Ana, Wagner e Patrícia pelas conversas e ensinamentos ao longo de todo projeto.

Ao UniCeub pelo uso do laboratório de engenharia civil e pelo apoio ao longo da pesquisa.

Aos técnicos do Labocien pela sempre pronta colaboração.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Cimento Portland	1
1.2 Reservas e recurso de Nióbio.....	1
1.3 Óxido de Nióbio(V) Hidratado e Anidro	2
2. OBJETIVOS	2
2.1 2.1 Objetivos gerais.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1 Materiais cimentícios suplementares (MCSs).....	3
4. MÉTODO	4
4.1 Caracterização do óxido de nióbio(v) anidro e hidratado.....	4
4.1.1 Composição dos óxidos	4
4.1.2 Toxicidade dos óxidos	4
4.1.3 Difração de raiosX dos óxidos.....	5
4.2 Materiais utilizados	6
4.3 Metodologia de ensaios de resistência à compressão das argamassas	6
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	8
6. CONCLUSÕES	9
7. REFERÊNCIAS	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Difratoograma de raios-X do óxido de nióbio(V) hidratado.....	5
Figura 2 - Difratoograma de raios-X do óxido de nióbio(V) anidro.....	6
Figura 3 - Corpo de prova com substituição de cimento pelo óxido de nióbio(V) hidratado.....	7
Figura 4 - Resistência à compressão para as substituições com óxido de nióbio(V) hidratado, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.....	8
Figura 5 – Resistência à compressão para as substituições com óxido de nióbio(V) anidro, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.....	9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise do óxido de nióbio(V) hidratado.....	4
Tabela 2 – Análise do óxido de nióbio(V) anidro.....	4
Tabela 3 – Legenda dos traços usados.....	7

1. INTRODUÇÃO

1.1 Cimento Portland

O cimento Portland pode ser constituído somente por clínquer e por substância reguladora de pega, o gesso, o qual se denomina cimento Portland comum; no entanto, outros materiais podem ser acrescentados na produção de cimentos com Materiais Cimentícios Suplementares – MCSs. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica o cimento Portland em diferentes tipos de acordo com os seus componentes e propriedades.

O cimento Portland pozolânico é definido pela norma brasileira NBR-5736/1.991 como sendo o aglomerado hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou separado, onde é permitido adicionar uma ou mais formas de sulfato de cálcio (CaSO_4) e materiais carbonáticos em teores especificados.

O tipo de cimento a ser escolhido é função da disponibilidade de mercado e, principalmente, das propriedades que se deseja do produto cimentício ou do tipo de edificação a que se destina. É de grande importância o conhecimento das proporções dos compostos presentes em cada cimento, para o mesmo tenha a finalidade de aplicação desejada (GOBBO, 2009).

1.2 Reservas e recursos de Nióbio

O nióbio é encontrado em mais de 50 minerais, tais como: niobita, niobita-tantalita, euxenita e pirocloro-microlita. O pirocloro é, sem dúvida, o mais importante, sendo responsável pela maior parte do suprimento mundial, sendo que o pirocloro brasileiro apresenta níveis bastante reduzidos de tântalo (SERAFIM, 1994). Minerais que contém nióbio geralmente possuem também o tântalo.

O nióbio pode ser encontrado em todos os países, uma vez que eles apresentam condições geológicas propícias para a sua ocorrência. Países como Canadá, Rússia, Brasil e alguns africanos detêm as maiores reservas de nióbio atualmente.

O Brasil ocupa um importante papel na história do nióbio. Enquanto 1801 é celebrado como o ano da descoberta do elemento, o primeiro produto comercializado de fato, a liga ferro-nióbio, foi obtida pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) no Brasil em 1975. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DPNM), o Brasil possui as maiores reservas conhecidas de nióbio, encontrado principalmente nas jazidas de pirocloro, que equivalem a aproximadamente 98% de todo o nióbio do mundo. A fim de agregar valor, o Ministério de Minas e Energia do Brasil (2010) recomenda ampliar e disseminar a utilização deste metal no país, fomentando, por meio de pesquisas, novas aplicações para o nióbio e seus compostos. (LOPES *et al.*, 2015).

O Brasil possui a maior reserva de nióbio do mundo, localizada na região do Estado do Amazonas no Município de São Gabriel da Cachoeira. As empresas localizadas em Catalão – GO e Araxá – MG são responsáveis pela produção de nióbio e, a jazida de Araxá sozinha é capaz de cobrir a demanda de nióbio por alguns séculos e as reservas brasileiras são suficientes para muitos anos de produção (SERAFIM, 1994), portanto fica evidente que o desenvolvimento de tecnologias que utilizem esse elemento é crucial para um melhor aproveitamento e valorização dessa reserva

que o país possui. Com base nesses números, pode-se afirmar que o Brasil possui praticamente o monopólio da oferta de nióbio (LOPES *et al.*, 2015).

1.3 Óxido de Nióbio(V) Hidratado e Anidro

O óxido de nióbio(V) (Nb_2O_5) é o produto intermediário dos processos industriais de produção de nióbio, tendo cor branca e tornando-se amarela com aquecimento, mas que desaparece com o resfriamento (SERAFIM, 2007).

O óxido de nióbio(V) hidratado ou “ácido nióbico” ($\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), apresenta grande estabilidade com relação à maior parte dos reagentes ácidos, exceto aos ácidos fluorídrico, sulfúrico concentrado e clorídrico. Não apresenta quantidade fixa de água de hidratação – água retida na molécula do óxido; a quantidade de moléculas de água retidas depende da temperatura de secagem.

O óxido de nióbio(V) hidratado é um pó branco, fino e amorfo, ou seja, apresenta tamanho de partículas pequenas, adequadas para sua utilização como adições em cimento. Já o óxido de nióbio(V) anidro é um pó fino amarelado, também com partículas pequenas e cristalinas (ZELIKMAN *et al.*, 1966).

O óxido de nióbio(V) anidro (Nb_2O_5) apresenta as mesmas propriedades quanto à estabilidade que o óxido hidratado. O óxido de nióbio(V) anidro possui alto índice de refração e baixa dispersão ótica, diminuindo a espessura e o peso das lentes oftálmicas. A ausência de moléculas de água de hidratação torna o composto menos reativo, logo, menos adequado para determinadas aplicações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência da substituição do cimento por óxidos de nióbio na resistência à compressão das argamassas de cimento Portland.

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Preparar argamassa com cimento Portland puro para material de referência.
- Preparar argamassa com cimento Portland com adições de diferentes teores dos óxidos de nióbio(V), o anidro e o hidratado.
- Avaliar o comportamento das argamassas preparadas quanto ao desenvolvimento da resistência mecânica através de ensaios de compressão, de cada argamassa até os 91 dias.
- Comparar os resultados das argamassas com adições e o material de referência.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Materiais Cimentícios Suplementares (MCSs)

Os MCSs são materiais inorgânicos finamente moídos (normalmente com granulometria igual ou menor que o cimento) que podem ser adicionados ao concreto com finalidades de melhorar suas propriedades ou proporcionar características especiais ao concreto, geralmente essas características são resistência mecânica e a durabilidade (DUART, 2008).

Os MCSs podem se dividir em pozolânicos, onde ocorre a reação da sílica amorfa com o hidróxido de cálcio; cimentantes, que há a hidratação com a presença de hidróxido de cálcio e gipsita; e os materiais inertes, que há apenas o efeito físico do microfíler (MELO, 2013). Entre os materiais cimentícios suplementares mais importantes estão as pozolanas, sendo que as mais comumente utilizadas são as cinzas volantes, a escória de alto forno, a sílica ativa, o metacaulim e, em menor quantidade, a cinza de casca de arroz (RÊGO, 2004; CORDEIRO, 2009).

Os MCSs podem proporcionar diminuição do consumo de cimento, redução de desperdícios favorecendo menor impacto ambiental e, ainda, a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂) dos fornos de cimento (NEVILLE, 1997; MEHTA *et al.*, 2014). Além das vantagens técnicas, o uso de substituições parciais de MCS para cimento também afetam os custos de produção por causa do seu baixo custo quando comparado com o cimento. A escolha de um tipo específico de material cimentício, tal como a cinza de casca de arroz, escórias, cinzas volantes, sílica ativa, é guiado principalmente por preocupações sobre disponibilidade e as características de desempenhos especificados para o concreto a uma determinada idade, bem como os custos de produção (PINHEIRO, 2016).

Vale ressaltar que a prática da utilização de MCSs atende às exigências de diminuição do consumo de energia, uma vez que a fabricação do clínquer do cimento demanda grandes quantidades de energia, enquanto alguns materiais pozolânicos consistem em subprodutos de outros processos industriais e de agroindústrias (GOBBO, 2009).

Neste contexto, a investigação de novos materiais para aplicação como MCS, visando contribuir com o estudo da aplicabilidade destes materiais, vem sendo de grande importância. Diante do exposto, visando à necessidade de que estudos sejam direcionados à geração de aplicações tecnológicas a novos compostos é de grande importância divulgar as potencialidades do nióbio e seus compostos em novas aplicações. Para tal, inicialmente será apresentada uma descrição histórica e a importância econômica do elemento nióbio, bem, como serão discutidas suas propriedades e de seus principais compostos.

Em 1801, Charles M. Hatchett ao analisar alguns minerais de cromo encontrou um mineral desconhecido, o qual denominou de columbite, sido descoberto a partir de um minério Americano. Em 1802, A. G. Ekeberg estudando minerais finlandeses encontrou um novo mineral semelhante à columbite que, devido a dificuldade em dissolver esse mineral em meio ácido, denominou-o de Tântalo (SILVA, 2007). Quase cinquenta anos mais tarde, H. Rose descobriu dois novos elementos em uma amostra de columbite, um deles era semelhante ao tântalo de Ekeberg e o outro ele deu o nome de nióbio, em memória de Níobe, filha do deus grego Tântalo. Somente em 1864, Blomstrand, através da redução do cloreto aquecido em atmosfera de hidrogênio, conseguiu isolar o nióbio (SOARES, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização do óxido de nióbio(V) anidro e hidratado

4.1.1 Composição dos óxidos

A ficha técnica apresentada pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração - CBMM mostra a composição química dos óxidos anidro e hidratado, apresentados nas Tabelas 1, 2.

A composição informada pelo fornecedor permitiu calcular a fórmula aproximada do óxido hidratado como: $Nb_2O_5 \cdot 4,6H_2O$.

Tabela 1 – Análise do óxido de nióbio(V) hidratado

Elemento	Resultado	LQ (Limite de qualificação)
Nb_2O_5	75,5 %	NA
LOI	23,7 %	0,01
Fe	< 2 ppm	2
Cl Free	170 ppm	NA

Fonte: do autor (dados fornecidos pela CBMM)

Tabela 2 – Análise do óxido de nióbio(V) anidro

Elemento	Resultado (ppm)	LQ (Limite de qualificação)
Nb_2O_5	≈ 99 %	-----
Ta	1021	305
Fe	3,6	1
Si	< 30	30
Al	3	2,5
LOI	0,2 %	0,01
Cr	< 1	0,6
Mn	< 1	0,6
Co	< 1	0,6
Cu	< 1	0,5

Fonte: do autor (dados fornecidos pela CBMM)

4.1.2 Toxidade dos óxidos

De acordo com a ficha técnica apresentada pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM para os óxidos de nióbio anidro e hidratado, ambos são classificados como NÃO PERIGOSOS, segundo o sistema de classificação utilizado – Norma ABNT-NBR/2010. Os produtos não possuem outros perigos.

4.1.3 Difração de raios-X dos óxidos

O método foi desenvolvido por Debye e Scherrer, cujos objetivos principais são determinar a estrutura, os parâmetros de rede e os espaçamentos interplanares da rede cristalina do material, e identificá-lo por comparação, com estruturas cristalinas conhecidas (SUBBARAO *et al.*, 1973). Os materiais não cristalinos (amorfo), orgânicos ou inorgânicos, não apresentam um difratograma com linhas bem definidas, por não apresentarem regularidade interna de cristalização. Entretanto, uma fase cristalina tem um arranjo atômico bem definido, com uma estrutura repetitiva que se estende por muitas distâncias atômicas.

O difratograma de raios-X do óxido de nióbio(V) anidro, Figura 1, mostra que o composto é amorfo e na Figura 2 mostra o difratograma do óxido de nióbio(V) anidro e cristalino. A análise por difração de raios-X dos óxidos foi realizada no Laboratório de raios-X do Instituto de Geociências da UnB.

Figura 1 - Difratograma de raios-X do óxido de nióbio(V) hidratado.

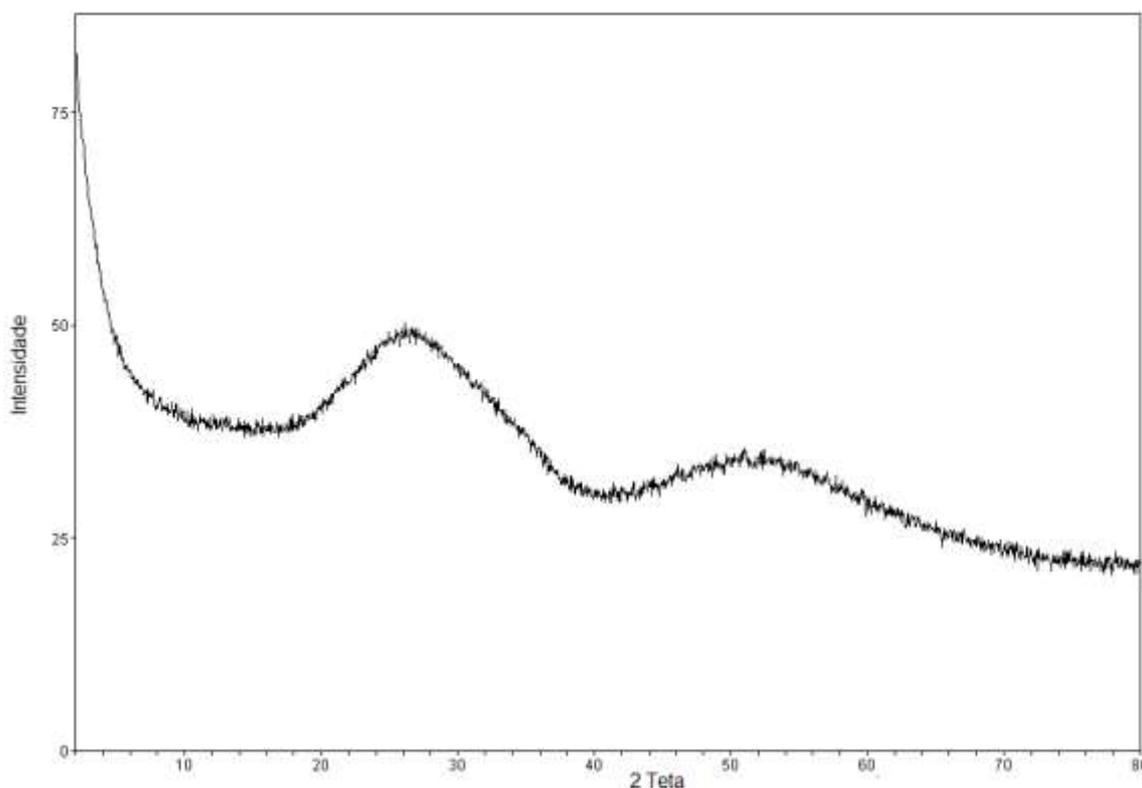
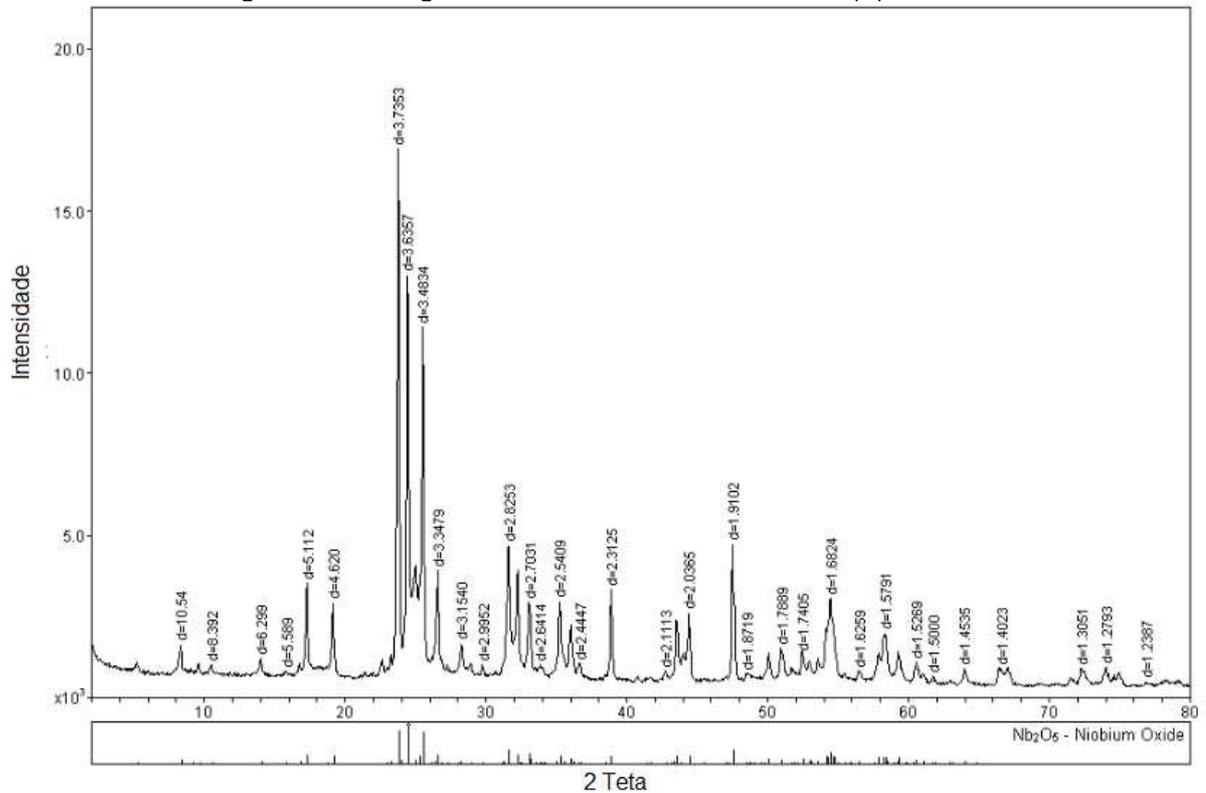


Figura 2 - Difratoograma de raios-X do óxido de nióbio(V) anidro.



4.2 Materiais utilizados

Para desenvolver o trabalho foram utilizados os materiais listados a seguir:

- Areia padrão do IPT
- Cimento Portland CP II F32
- Óxido de nióbio(V) hidratado
- Óxido de nióbio(V) anidro

4.3 Metodologia de ensaios de resistência à compressão das argamassas

Corpos de prova de argamassas foram confeccionados de acordo com a NBR 7215/1996, com cimento Portland tipo II para determinação da resistência a compressão de argamassas com substituição de 1, 3, 5, 10 e 15%, em massa de cimento, pelo óxido de nióbio(V) anidro e hidratado. Os rompimentos foram feitos a 1, 3, 7 e 28 dias de hidratação, seguindo a NBR 7215, conforme mostra a Tabela 3:

Tabela 3 – Legenda dos traços usados

	Cimento (gramas)	Areia fina (gramas)	Areia média fina (gramas)	Areia média grossa (gramas)	Areia grossa (gramas)	Nb ₂ O ₅ (gramas)	Nb ₂ O ₅ · nH ₂ O (gramas)	Água adiciona da (gramas)	Teor de substitui ção (%)
Referênc ia	624	468	468	468	468	----	----	300	0
1H	617,76	468	468	468	468	----	6,24	298,52	1
3H	605,28	468	468	468	468	----	18,72	295,56	3
5H	592,8	468	468	468	468	----	31,2	292,61	5
10H	561,6	468	468	468	468	----	62,4	285,21	10
15H	530,4	468	468	468	468	----	93,6	277,82	15
1A	617,76	468	468	468	468	6,24	----	300	1
3A	605,28	468	468	468	468	18,72	----	300	3
5A	592,8	468	468	468	468	31,2	----	300	5
10A	561,6	468	468	468	468	62,4	----	300	10
15A	530,4	468	468	468	468	93,6	----	300	15

Fonte: Elaborada pelo autor

Ensaio preliminares de substituição do óxido de nióbio(V) hidratado foram realizados, porém nos cálculos da água adicionada, não foi descontada da água de hidratação do composto. Observou-se que nos teores de substituição de óxido, a partir de 5% ocorreu exsudação, conforme mostra a Figura 3. Assim, as pastas com substituição do óxido hidratado, a quantidade de água inerente a amostra, como evidenciado na caracterização na Tabela 1 pelo índice LOI de 23,7% em massa, foi descontada da quantidade de água estabelecida pela norma do ensaio realizado. Desta forma, manteve-se a relação a/c constante e igual em todos os traços e a mesma ao das pastas com substituição do óxido de nióbio(V) anidro.

Figura 3 - Corpo de prova com substituição de cimento pelo óxido de nióbio(V) hidratado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5. Resultados e discussão

Os resultados obtidos para a resistência à compressão estão apresentados nos Gráficos 1 e 2, para as substituições por óxido de nióbio(V) hidratado e por óxido de nióbio(V) anidro, nas idades estudadas e nos variados teores de substituição.

Para as resistências a 1 dia de idade, as argamassas com óxido de nióbio(V) anidro apresentaram maiores resultados comparados com as pastas com o óxido hidratado, porém ambas com valores inferiores de resistência comparadas à argamassa de referência.

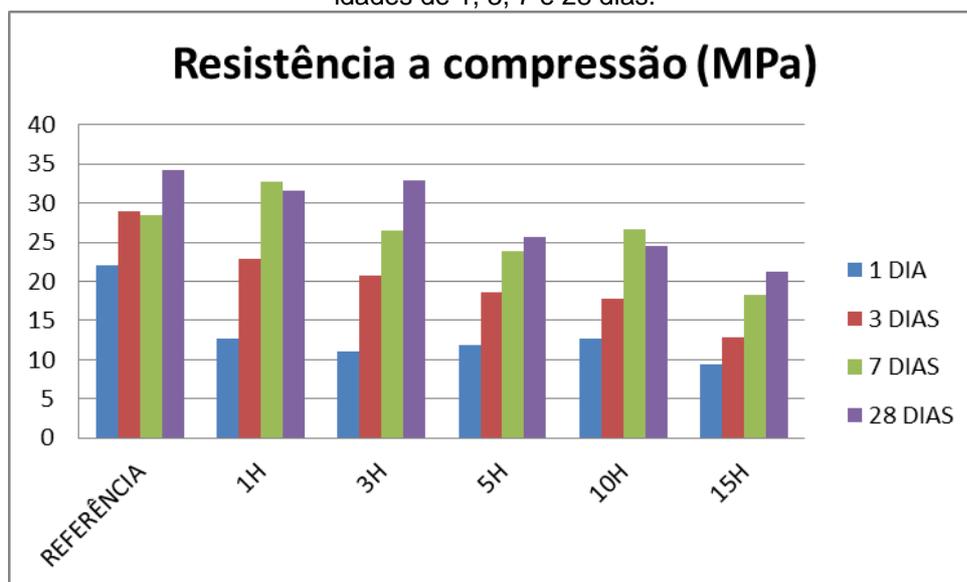
Aos 3 dias de idade, todos os teores de substituição de ambos os óxidos, apresentaram menor resistência em relação à referência.

A partir do ensaio de resistência à compressão aos 7 dias, as médias das substituições por óxido de nióbio(V) hidratado apresentaram maiores resultados que as médias por substituição por óxido de nióbio(V) anidro, com exceção dos traços 5H, 5A, 15H e 15A. Nessa idade, também se observa maior resistência, ou seja, a maior média em relação aos resultados de resistência das argamassas de referência (sem substituição do cimento) para o traço 1H1. Desta forma, o traço 1H1, com 1% do óxido hidratado apresentou ganhos na resistência aos 7 dias, resultado que deve-se, provavelmente, devido ao efeito filler.

Em 28 dias, os ensaios de resistência apresentaram resultados relativos maiores para argamassas com o óxido de nióbio hidratado(V) do que com óxido anidro. A exceção ocorreu nos traços 10H e 10A. Nesta idade, a diferença entre o traço 1H e a referência não foi significativa.

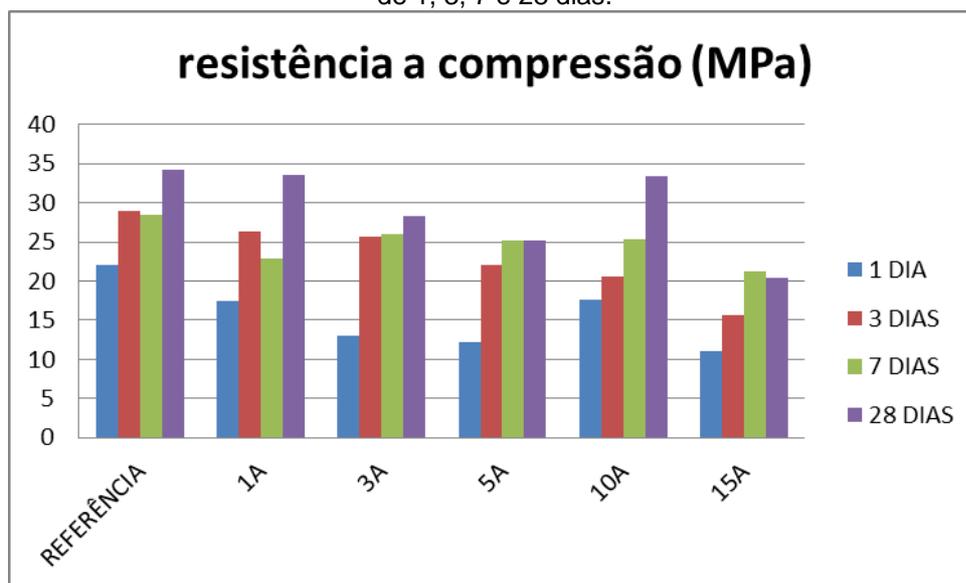
Para as resistências a 91 dias de idade, foram obtidos resultados considerados experimentalmente inválidos, pois apresentaram valores inferiores as resistências a 28 dias, sendo assim descartados.

Figura 4 - Resistência à compressão para as substituições com óxido de nióbio(V) hidratado, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 – Resistência à compressão para as substituições com óxido de nióbio(V) anidro, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor

6. Conclusões

Abordou-se nessa pesquisa, estudo para avaliação da influência da substituição por variados teores de óxido de nióbio(V) hidratado e por anidro em argamassas de cimento Portland. Este estudo permitiu dar início a investigações quanto à viabilidade de uso de óxidos de nióbio(V) como material cimentício suplementar em pastas de cimento, uma vez que não há relato na literatura desse procedimento.

Observou-se pelos ensaios de resistência à compressão com substituições do óxido hidratado, que os maiores resultados em relação à referência, ocorreram com 1% de substituição aos 7 dias e 3% aos 28 dias. Já o óxido anidro resultou maiores valores de resistência com 1 e 10% de substituição aos 28 dias, porém ambos menores que a referência.

Entretanto, os resultados experimentais obtidos não impedem que maiores estudos com estes materiais sejam desenvolvidos, como por exemplo, utilizando-se substituições conjuntas de óxido de nióbio (V) anidro e hidratado com outros materiais cimentícios e avaliar a resistência à compressão.

Pode-se também avaliar outras propriedades e aplicações de argamassas resultantes de substituições de cimento pelos óxidos de nióbio(V), pois sabe-se das vantagens econômicas e ambientais da utilização de materiais cimentícios suplementares, destacando-se que o nióbio e seus compostos são abundante no Brasil o que agrega a grande importância na investigação de novas aplicações para estes materiais.

7. Referências

- CBMM - **Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração**. Disponível em: <<http://www.cbmm.com.br>>. Acesso em: 4 maio 2017.
- CORDEIRO, L. N. P. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.
- GOBBO, L. A. **Aplicação da difração de raios-X e método Rietveld no estudo de cimento Portland**. Tese de Doutorado em recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, 2009.
- LOPES, O. F.; MENDONÇA, V. R.; SILVA, F. B. F.; PARIS, E. R.; RIBEIRO, C. **Óxidos de Nióbio: uma visão sobre a síntese do Nb₂O₅ e sua aplicação em fotocatalise heterogênea**. Química Nova, v. 38, nº 1, 106-117, 2015.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Ed. IBRACON, 3ª Edição, São Paulo, 2014.
- MELO, G. R. P. **Determinação do teor de sílica amorfa em amostras de adições minerais altamente reativas pelo método analítico rápido**. 2013. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- PINHEIRO, D. G. L. **Avaliação da atividade pozolânica em cinzas de casca de arroz (CCA) com diferentes teores de sílica amorfa**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2016.
- RÊGO, J. H. S. **As cinzas de casca de arroz (CCAs) cristalina e amorfa como adição mineral ao cimento – Aspectos da microestrutura das pastas**. 2004. 274 p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- SERAFIM, M. J. S. **Obtenção e caracterização do hidróxido de nióbio(V) como trocador iônico**. Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL, Departamento de Materiais – DEMAR, Lorena – São Paulo, p 1-6 e 28, 1994.
- SERAFIM, M. J. S.; BESSLER, K. E.; LEMOS, S. S.; SALES, M. J. A.; ELLENA, J. **The preparation of new oxoniobium(V) complexes from hydrated Niobium(V) Oxide: the crystal and molecular structure of Oxotris(2-pyridinolato-N-oxide)niobium(V)**. Transition Metal Chemistry, v. 32, p. 112-116, 2007.

SILVA, J. B.; RODRIGUES, J. A. J. **Síntese, caracterização e avaliação de compostos de nióbio como catalisador ácido em reação modelo**. São José dos Campos: INEP, p. 14- 23, 2007.

SOARES, M. **Nióbio: dados básicos**. p. 29, 2004.

SUBBARAO, E. C.; CHAKRAVORTY, D.; MERRIAM, M. F.; RAGHAVAN, V.; SINGHAL, L. K. **Experiências de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., p.12, 1973

ZELIKMAN, A. N.; KREIN, O. E.; SAMSONOV, G. V. *Israel Program for Scientific Translations* (Jerusalém), 101, 1996.