



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

MARINA ELIZABETH DIAS ALTIDIS

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS UTILIZANDO LODO DA
INDÚSTRIA TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO NÃO
ESTRUTURAL**

Campina Grande-PB
2014

MARINA ELIZABETH DIAS ALTIDIS

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS UTILIZANDO LODO DA
INDÚSTRIA TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO NÃO
ESTRUTURAL**

Tese de Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais, como exigência para obtenção do título de Doutor.

Orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Crislene Rodrigues da Silva Morais

Campina Grande-PB
2014

A468d Altidis, Marina Elizabeth Dias.

Desenvolvimento de compósitos utilizando lodo da indústria têxtil na produção de concreto não estrutural / Marina Elizabeth Dias Altidis. – Campina Grande, 2014.

108 f. : il.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a. Crislene Rodrigues da Silva Morais".

Referências.

1. Cerâmica – Engenharia de Materiais. 2. Lodo Têxtil. 3. Concreto. 4. Prevenção. 5. Propriedades Físico-Mecânicas. I. Morais, Crislene Rodrigues da Silva. II. Título.

CDU 620:666.3(043)

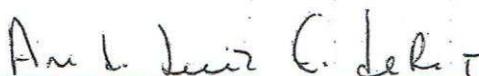
DESENVOLVIMENTO DE COMPOSITOS UTILIZANDO LODO DA INDÚSTRIA
TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

MARINA ELIZABETH DIAS ALTIDIS

Tese Aprovada em 29/08/2014 pela banca examinadora constituída dos seguintes
membros:



Dr.^a Crislene Rodrigues da Silva Morais
(Orientadora)
PPG-CEMat/UAEMA/UFCG



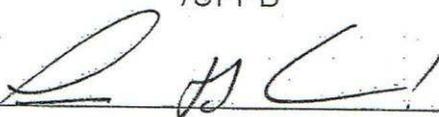
Dr. André Luis Fiquene de Brito
(Examinador Externo)
UAEQ/UFCG



Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento
(Examinador Externo)
UAEA/UFCG



Dr.^a Maria do Socorro Cavalcanti
(Examinadora Externa)
/UFPB



Dr. Jonas Alexandre
(Examinador Externo)
UENF

Ao meu pai Andreas e minha avó Lira, que apesar de não se encontrarem entre nós, mas sempre estão comigo, pois são substrato de minha formação.

Eu dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pelo dom da vida e pela constante proteção de Pai. Agradeço por estar aqui e por todas as oportunidades de crescimento e realizações que tens designado para minha vida.

A minha querida mãe **Vilma** por todo amor, incentivo, paciência e apoio em todas as fases da minha vida.

Aos meus irmãos, **Kátia, Jaqueline e Rafael**, porque sempre me apoiaram e porque acima de tudo, o amor que nos une é muito especial.

Aos meus cunhados **Alessandro e Adegildes**, pelo incentivo e porque sempre procuram estarem presentes.

Aos meus queridos sobrinhos **Ian e Kaio**, pelo nosso convívio em família tão cheio de amor que alegra nossos dias.

A **Profa Dra Crislene Rodrigues da Silva Moraes** pela amizade, paciência, oportunidade, incentivo, confiança e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. André Luis Fiquene de Brito** e a **Profª. Drª. Djane de Fátima Oliveira** por ajudaram com incentivo, apoio, conselhos e dicas durante a pesquisa.

Aos participantes da banca examinadora, **Prof. Dr. Jonas Alexandre, Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento e Profa Dra Maria do Socorro Lopes Cavalcanti**, pelas contribuições prestadas.

A **todos os professores da Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais**, pelo privilégio de através de vossos ensinamentos, adquirir conhecimento científico para a realização deste trabalho.

A **todos os funcionários da Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais** e em especial a **Márcia** que é uma pessoa iluminada.

A empresa **COTEMINAS** e ao **SENAI** João Pessoa, pelo apoio no fornecimento do lodo para o desenvolvimento desse estudo.

Aos meus queridos amigos e companheiros de pesquisa **Brunno e Pablo**, que sempre me apoiaram e ajudaram.

Ao meu grupo de pesquisa em resíduos sólidos, pelo companheirismo e apoio na realização do trabalho: **Lívia, Katyane, Jonatas, Mickaela e Patricia**.

Aos amigos de trabalho, **Alderiza, Ângela, Aracelle, Divânia, Joseanne, Keila, Pablicia, Renata, Sileide, Tatianny e Valdenia**. A amizade destes, a ajuda inigualável e as conversas, ajudaram e muito, no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos do **Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)**, especialmente a **André Padilha, Adriano, Elmano, Elmer, Dayanne, Greiciane, João Paulo, Júlio, Lêda, Leonardo, Lin, Márcio, Renata, Rogerio, Tarsis, Tiago e Wilker**. Obrigada pelos sorrisos, conversas, conselhos e pelo ótimo ambiente de trabalho.

As minhas amigas **Isabelly, Flávia, Marina, Raquel e Thais** meus agradecimentos pelo apoio recebido dia-a-dia, pela harmonia do nosso convívio e pela sensação de poder contar com vocês sempre.

A todos que direta, ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O interesse pela utilização de resíduos industriais, tais como lodo tem crescido como alternativa tanto na redução do volume desse passivo ambiental quanto na obtenção de um produto a ser utilizado na construção civil. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar as propriedades físico-mecânicas de concretos formados a partir do uso de lodo da indústria têxtil, visando sua aplicação na construção civil. O lodo têxtil foi seco em estufa a 110°C por vinte e quatro horas e triturado em moinho para adquirir granulometria adequada e em seguida submetido às seguintes análises: termogravimetria, análise térmica diferencial, espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho, difração de raios-X, análise química, lixiviação, solubilização e microscopia óptica. Foram confeccionados corpos de prova de concreto utilizando os traços 1:3 e 1:4 com teores de substituição de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % de lodo no agregado miúdo, com 7, 28 e 60 dias de cura e realizaram-se os seguintes ensaios: abatimento do tronco do cone, de resistência à compressão axial, resistência à compressão diametral, absorção, índice de vazios, massa específica, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, lixiviação e solubilização. Os resultados das caracterizações do lodo têxtil apresentaram a compatibilidade química e estabilidade térmica suficiente para sua incorporação no concreto, entretanto verificou um alto teor de matéria orgânica. Já o ensaio de lixiviação classificou o lodo têxtil como resíduo perigoso, devido o extrato lixiviado ultrapassar o limite para os metais ferro e manganês. Já nos corpos de provas os ensaios de lixiviação e solubilização mostraram que os metais encontram-se encapsulados no concreto com teores de até 7 % de lodo têxtil. Nas microscopias realizadas nos corpos de provas de concretos, verificou-se a pouca interação do lodo com os constituintes do concreto. Já a absorção de água apresentou uma tendência de aumento, quando cresceu a quantidade de lodo têxtil, mas os valores ficaram abaixo de 10 %, podendo ser considerado de boa qualidade. No que se refere aos resultados de resistência à compressão ocorreu uma diminuição desta com o teor de lodo têxtil. No traço 1:3 com teores de até 7 % de lodo e no traço 1:4 com até 5 % de lodo o concreto foi considerado moderado, e para o traço 1:4 com 7 % de lodo foi classificado como concreto não estrutural.

Palavras-chave: Lodo Têxtil. Caracterização. Concreto. Propriedades Físico-mecânicas.

ABSTRACT

Interesting in the use of industrial waste, such as sludge has grown both as an alternative in reducing the volume of this environmental liability as in getting a product to be used in civil building. This work aims to develop and evaluate physical and mechanical properties of concrete formed from the use of textile industry sludge, for its application in civil building. The textile sludge was dried at 110°C for twenty-four hours and milled in a grinder to get proper particle size and then subjected to the following tests: thermogravimetry, differential thermal analysis, vibrational infrared absorption spectroscopy, X-ray diffraction, chemical analysis, leaching, solubilization and optical microscopy. Concrete specimens were fabricated using the ratios 1:3 and 1:4 under levels of sludge substitution of 0 %, 3 %, 5 % and 7 % in the small aggregate, with 7, 28 and 60 days of curing and performed the following tests: cone trunk reduction, compressive strength, tensile splitting strength, absorption, void ratio, specific gravity, optical microscopy, scanning electron microscopy, and leaching. The results of the textile sludge characterizations showed the chemical compatibility and thermal stability sufficient for its incorporation in concrete, however it was found a high content of organic matter. Again, leaching test rated the textile sludge dangerous and, because the extract leaching exceed the limit for the metals iron and manganese. The sample tests regarding solubilization and leaching tests showed that metals are encapsulated in concrete with levels of up to 7 % of textile sludge. In microscopy performed on test samples of concrete, there was a little interaction with the sludge constituents of the concrete. The water absorption presented increase trend when increased the amount of textile sludge, but the values were below 10 % and can be considered good quality. Regarding the results of compressive strength occurred decrease related to the textile sludge content. On the ratio 1:3, with sludge levels up to 7 %, and the ratio 1: 4 up to 5 % of sludge level, the concrete was considered moderate, and the ratio 1:4 up to 7 % of sludge, the concrete was classified as non structural.

Keywords: Textile Sludge. Characterization. Concrete. Physical and mechanical properties.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ensaio do abatimento do tronco do cone.....	28
Figura 2.2	Ensaio de resistência à compressão axial.....	29
Figura 2.3	Rompimento do corpo de prova por compressão diametral.....	32
Figura 2.4	Fluxograma da cadeia Têxtil.....	38
Figura 2.5	Estações de tratamento de efluentes.....	39
Figura 2.6	Decantador secundário na estação de tratamento de efluentes (ETE) da COTEMINAS.....	40
Figura 2.7	Lodo Têxtil gerado na ETE.....	41
Figura 3.1	Fluxograma da metodologia utilizada.....	47
Figura 3.2	Lodo têxtil cedido pela Coteminas, lodo úmido (a), lodo seco a 110°C (b) e lodo triturado (c).....	49
Figura 3.3	Ensaio de determinação da massa unitária.....	51
Figura 3.4	Ensaio de abatimento do tronco de cone.....	52
Figura 3.5	Fluxograma da composição dos concretos.....	53
Figura 3.6	Moldes cilíndricos sendo preenchidos com o traço determinado (a) e Moldes cilíndricos após preenchimentos com o traço determinado (b).....	54
Figura 3.7	Corpos de prova (a) e cura dos corpos de prova (b).....	55
Figura 3.8	Corpos de prova (a) e Banho Maria (b).....	56
Figura 3.9	Ensaio de resistência à compressão axial simples, (a) corpo de prova colocado na prensa e (b) após ser submetido ao ensaio de resistência.....	56
Figura 3.10	Corpos de prova depois do ensaio de resistência à compressão diametral, com teores de 0% de lodo têxtil (a) e 7% de lodo têxtil (b).....	57
Figura 3.11	Amostra cortada do corpo de prova de concreto.....	58
Figura 3.12	Amostra de concreto cortada (a) e Amostras com o recobrimento de ouro (b).....	58
Figura 3.13	Lodo têxtil (a) e corpos de prova triturados e peneirados (b).....	59
Figura 3.14	Realização do ensaio de lixiviação com o equipamento rotativo.....	60

Figura 3.15	Realização do ensaio de solubilização (a) e obtenção do extrato solubilizado por filtração (b).....	60
Figura 4.1	Espectro de infravermelho do Lodo e do resíduo do Lodo.....	63
Figura 4.2	Difratograma da amostra de lodo têxtil seco.....	64
Figura 4.3	Curvas TG/DTG do Lodo, obtidos à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$, em atmosfera de nitrogênio.....	65
Figura 4.4	Curva DTA do Lodo, obtida à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$, em atmosfera de nitrogênio.....	66
Figura 4.5	Micrografias do lodo têxtil, com aumento 1000X (a) e 5000X (b).....	67
Figura 4.6	Gráfico índice de volume de vazios entre areia e brita.....	69
Figura 4.7	Absorção de água dos corpos de prova de concreto com traço 1:3 (a) e traço 1:4 (b), curados em 7, 28 e 60 dias.....	71
Figura 4.8	Índice de vazios dos corpos de prova de concreto, curados em 7, 28 e 60 dias e traços de 1:3 (a) e 1:4 (b).....	72
Figura 4.9	Massa específica dos corpos de prova de concreto, curados em 7, 28 e 60 dias e traços de 1:3 (a) e 1:4 (b).....	73
Figura 4.10	Gráfico de resistência à compressão simples dos corpos de provas de concreto com traço 1:3 (a) e traço 1:4 (b), curados em 7, 28 e 60 dias.....	74
Figura 4.11	Gráfico de resistência à compressão simples dos corpos de provas de concreto, com traço de 1:3(a) e 1:4 (b), curados em 7, 28 e 60 dias.....	75
Figura 4.12	Microscopia com 0% de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b).....	76
Figura 4.13	Microscopia com 3% de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b).....	77
Figura 4.14	Microscopia com 5% de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b).....	77
Figura 4.15	Microscopia com 7% de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b).....	78

Figura 4.16	Micrografias do corpo de prova com teor de 0% de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b).....	78
Figura 4.17	Micrografias do corpo de prova com teor de 3% de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b).....	79
Figura 4.18	Micrografias do corpo de prova com teor de 5% de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b).....	79
Figura 4.19	Micrografias do corpo de prova com teor de 7% de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b).....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Resistência média do concreto, em MPa em função da relação água/cimento para vários tipos de cimento brasileiro.....	30
Tabela 2.2	Classificação do concreto por grupos de resistência.....	31
Tabela 3.1	Traço dos corpos de provas de concretos.....	53
Tabela 4.1	Composição química do lodo.....	62
Tabela 4.2	Dados da decomposição térmica do Lodo Têxtil, obtido à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, em atmosfera de nitrogênio.....	64
Tabela 4.3	Elementos analisados no lodo têxtil, com o ensaio de lixiviação e solubilização.....	68
Tabela 4.4	Valores de abatimento de tronco de cone (slump).....	70
Tabela 4.5	Elementos analisados nos corpos de provas, com o ensaio de lixiviação.....	81
Tabela 4.6	Elementos analisados nos corpos de provas, com o ensaio de solubilização.....	82

SIMBOLOGIA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRX	Difração de Raio-X
DTA	Análise Térmica Diferencial
DTG	Derivada da Termogravimetria
ETE	Estações de Tratamento de Efluentes
FTIR	Espectrometria Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier
MEV	Microscopia eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
MO	Microscopia Óptica
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
TG	Termogravimetria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivos Geral	18
1.1.2 Objetivo Específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	21
2.1.1 Concreto	22
2.1.1.1 Curas no Concreto.....	25
2.1.1.2 Propriedades do Concreto.....	27
2.1.1.2.1 <i>Consistência Concreto Fresco</i>	27
2.1.1.2.2 <i>Resistência à compressão axial</i>	29
2.1.1.2.3 <i>Resistência à compressão diametral</i>	32
2.1.1.2.4 <i>Permeabilidade e Absorção do Concreto</i>	33
2.1.1.2.5 <i>Massa Específica</i>	33
2.1.1.2.6 <i>Retração</i>	34
2.2 RESÍDUO SÓLIDOS.....	34
2.2.1 Classificação dos Resíduos	35
2.2.2 Resíduos Sólidos Industriais	36
2.3 LODO TÊXTIL.....	37
2.4 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	42
2.4.1 Concretos Alternativos	43
3 METODOLOGIA	47
3.1 MATERIAIS.....	48
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO TÊXTIL.....	49
3.2.1 Análise Química	50
3.2.2 Espectrometria Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier	50
3.2.3 Termogravimetria/ Análise Térmica Diferencial	50
3.2.4 Difração de Raio-X	50

3.3 FORMULAÇÕES DOS CONCRETOS.....	51
3.3.1 Dosagem dos Traços.....	51
3.3.2 Confeção e Moldagem dos Corpos de Prova.....	54
3.3.3 Cura dos Corpos de Prova.....	54
3.4 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS.....	55
3.4.1 Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica.....	55
3.4.2 Resistência a Compressão Axial Simples.....	56
3.4.3 Resistência Compressão Diametral.....	57
3.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.....	57
3.5.1 Microscopia Óptica.....	57
3.5.2 Microscopia Eletrônica Varredura.....	58
3.6 CLASSIFICAÇÃO.....	59
3.6.1 Ensaio de Lixiviação.....	59
3.6.2 Ensaio de Solubilização.....	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO TÊXTIL ESTUDADO NA COMPOSIÇÃO DOS COMPÓSITOS DOS CONCRETOS.....	62
4.1.1 Análise Química.....	62
4.1.2 Espectrometria Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier.....	62
4.1.3 Difração de Raio-X.....	63
4.1.4 Termogravimetria e Derivada da Termogravimetria.....	64
4.1.5 Análise Térmica Diferencial.....	66
4.1.6 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	67
4.1.7 Classificação.....	67
4.2 FORMULAÇÃO DOS CONCRETOS.....	68
4.2.1 Índice de Volume de Vazios e Massa Unitária.....	69
4.2.2 Abatimento do Tronco do Cone (Slump).....	70
4.3 ENSAIOS FÍSICOS-MECÂNICOS.....	71
4.3.1 Absorção de Água.....	71
4.3.2 Índice de Vazios.....	72
4.3.3 Massa Específica.....	73

4.3.4 Resistência à Compressão Axial Simples.....	74
4.3.5 Resistência à Compressão Diametral.....	75
4.3.6 Microscopia Óptica.....	76
4.3.7 Microscopia Eletrônica Varredura.....	78
4.3.8 Classificação.....	80
5. CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS.....	88
APÊNDICE.....	99

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações por parte dos órgãos nacionais e internacionais que estabelecem as normas de preservação do meio ambiente são os descartes de resíduos industriais e urbanos, pois estes vêm sendo ainda depositados por muitas indústrias em lixões ou a céu aberto de forma não adequada.

No entanto, a geração de resíduos sólidos na atividade industrial não se restringe às etapas do processo produtivo, nos quais ocorrem descartes de subprodutos que não possuem valor econômico. Nessas atividades, os sistemas de tratamento de águas residuais é uma importante fonte geradora de resíduos sólidos.

Os lodos provenientes de estações de tratamento de efluentes industriais variam de acordo com o tipo de atividade desenvolvida em cada grupo específico de atividade industrial. Nas indústrias têxteis, os processos de tingimento geram consideráveis volumes de efluentes líquidos. Os efluentes líquidos são tratados em estações de tratamento biológico, de onde resulta o resíduo (lodo), um subproduto semi-sólido rico em óxidos de minerais constituintes de pigmentos de tecido e de substâncias usadas no tratamento de efluentes, que são colocados em aterros ou lixões.

Na perspectiva de buscar meios para solucionar os problemas que minimizem as agressões ao meio ambiente, destaca-se o setor da construção civil que, sendo um ramo da atividade tecnológica consumidor de grande volume de recursos naturais, apresenta grande potencial para o reaproveitamento de resíduos sólidos em materiais de construção.

Dessa forma, o desenvolvimento de estudos voltados à utilização do lodo têxtil representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias primas alternativa e diminuição dos custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o ambiente.

O lodo provenientes das estações de tratamento de efluentes vêm sendo utilizados em diversos estudos na produção de materiais para a construção civil, destacando-se como agregado leve estudado individualmente ou na mistura com outros resíduos.

O aproveitamento de resíduos como materiais para a construção civil são ferramentas de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos em diferentes atividades industriais e na obtenção de materiais a um baixo custo.

As propriedades de lodo permitem a aplicação destes como novos materiais para a construção civil, em substituição parcial, utilizada no material convencional. Desta forma, o desenvolvimento de materiais alternativos de desempenho similar aos tradicionais com custo inferior e com a vantagem de ter uma destinação aos resíduos é bastante atrativo.

Os concretos têm em sua composição brita, areia e cimento. Como o lodo têxtil tem em sua composição a presença de elementos químicos, que são compatíveis com o cimento, a sua incorporação no concreto é conveniente.

Em razão da sua maior aplicabilidade tecnológica na área de construção civil e em benefício da natureza e cumprimento da legislação que obriga as empresas reduzir, reutilizar e reciclar os seus resíduos. Diante deste contexto o trabalho teve como objetivo a substituição parcial da areia pelo lodo têxtil no desenvolvimento de concretos não estruturais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar as propriedades físico-mecânicas de compósitos utilizando substituição parcial da areia pelo lodo da indústria têxtil na produção de concretos não estruturais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Beneficiar o lodo residual da indústria têxtil utilizando o processo de secagem e posterior cominuição.
- Caracterizar lodo têxtil, utilizando técnicas físico-químicas e micro-estrutural como: Espectrometria vibracional de absorção no infravermelho por transformada de

Fourier, termogravimetria, análise térmica diferencial, análise química, difração de Raios-X e microscopia eletrônica de varredura.

- Determinar as composições para a formulação de concreto utilizando o lodo proveniente da indústria têxtil segundo a norma NBR 5738 (2008).
- Determinar as propriedades físico-mecânicas dos concretos obtidos, utilizando as seguintes técnicas de ensaios: consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67:1998), absorção de água, índice de vazios e massa específica (NBR 9778:2009), resistência à compressão axial (NBR 5739:2007) e da compressão diametral (NBR 12118:2011).
- Avaliar as propriedades morfológicas do concreto com a microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura.
- Realizar o ensaio de lixiviação (NBR 10005:2004) e de solubilização (10006:2004), como forma de classificar ambientalmente o lodo têxtil e o concreto formado.

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A evolução e utilização dos materiais de construção possibilitaram a humanidade abrigo, segurança, conforto, flexibilidade, estética, entre outros, continuam até os dias atuais com requintes favorecidos pela evolução de materiais e técnicas. A necessidade de se abrigar das intempéries, proteção dos animais e grupos rivais impôs ao ser humano a busca de um abrigo seguro onde pudesse repousar, proteger família, numa contínua busca de sobrevivência. “No início, nas civilizações primitivas, o Homem empregava os materiais assim como os encontrava na Natureza: não os trabalhava. Mas, em pouco tempo, foi aprendendo a modelá-lo e adaptá-lo melhor às suas necessidades” (VERÇOZA, 1987).

A importância dos materiais na história do homem é tal que, nos primórdios, ela foi dividida conforme a predominância do uso de um ou de outro: Idade da Pedra, Idade do Bronze ou por seus melhoramentos: Idade da Pedra Lascada e Idade da Pedra Polida (PETRUCCI, 1976 e NUVOLARI, 2002).

Materiais de construção civil são elementos de naturezas diversas, que devem desempenhar papéis específicos e previsíveis de maneira a possibilitar e a garantir a existência de um determinado ambiente construído, pensado para um determinado fim – habitação, transporte, serviços e vários outros (RIBEIRO et al., 2002).

Com o passar dos anos, os materiais e técnicas de construção foram mudando. Não que o processo construtivo esteja relacionado a modismos, mas por causa de uma oferta de novas tecnologias, que fizeram avançar esta área, apesar de certos aspectos terem se mantido constantes, outros variaram muito. Enquanto surgiram produtos e processos novos e inovadores, outros se tornaram obsoletos e arcaicos, assim como as necessidades do homem (BARROS, 2011).

A noção de elementos componentes de um ambiente construído facilita a compreensão dos aspectos tecnológicos dos materiais, mas é importante ressaltar que eles também podem ser abordados sob vários outros aspectos, como os de natureza histórica, geográfica, cultural, social, econômica e política, que, no seu conjunto, são fatores determinantes da escolha dos materiais a serem adotados e

das diversas técnicas construtivas adequadas ao seu emprego em determinado contexto (RIBEIRO et al, 2002).

Segundo Jhon (2000), a construção civil é o setor responsável pelo consumo de maior volume de recursos naturais, em estimativas que variam entre 15 e 50 % dos recursos extraídos, além de seus produtos serem grandes consumidores de energia e, por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais alternativos que atendam a essa atividade.

Para que uma construção se materialize, todas as etapas, sejam elas de concepção, projeto, quantificação, obra, ocupação e manutenção, são pensadas e executadas em função dos seus materiais constituintes, o que denota a sua importância e a necessidade de bem compreendê-los. O conhecimento das características e propriedades dos diversos materiais de construção leva ao emprego adequado dos mesmos, nas várias situações com que se deparam os profissionais, e, além disso, abre possibilidades de inovações tecnológicas (RIBEIRO et al., 2002).

2. 1.1 Concreto

O concreto surgiu da necessidade de aliar a durabilidade da pedra com a resistência do aço, com as vantagens do material composto poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e com o aço envolvido e protegido pelo concreto para evitar a sua corrosão.

Os materiais de construção feitos à base de cimento, chamados “materiais cimentícios”, podem ser considerados os materiais mais importantes produzidos pelo homem, porque lhe possibilitou construir as edificações e todas as principais obras de que necessitava para viver, como por exemplo, as habitações, fortificações, aquedutos, barragens, obras sanitárias, pontes, rodovias, escolas, hospitais, teatros, igrejas, museus, palácios, entre tantos outros tipos de construção. A abundância das matérias primas em quase todas as regiões, somada à sua grande versatilidade para aplicação nas mais variadas formas, foram os principais motivos para o seu desenvolvimento, desde os tempos primórdios até a atualidade (NICOLA, 2010).

Concreto é um dos produtos mais consumidos no mundo, perdendo apenas para a água, o que o torna muito importante para a construção. Ele não é tão duro nem tão resistente quanto o aço e, mesmo assim, é mais usado que este na construção civil. Cita-se, pelo menos, três razões principais para o concreto ser mais utilizado: excelente resistência do concreto a água (usado em barragens, revestimentos de canais, estacas, fundações, lajes, vigas, muros, etc.); fácil manuseio, sendo adequado a uma variedade de formas e tamanhos; baixo custo e fácil disponibilidade do material para obras (em geral cimento, agregados e água são relativamente baratos e facilmente encontrados no mercado) (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Denomina-se concreto um material formado pela mistura de cimento, água, agregado graúdo (brita ou cascalho) e agregado miúdo (areia). O concreto fresco tem consistência plástica, podendo ser moldado, na forma e dimensões desejadas, bastando lançar a massa fresca no interior de formas de madeira ou outro material adequado. O concreto endurecido tem elevada resistência à compressão, mas baixa resistência à tração (ANDOLFATO, 2002).

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica. Resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até fusão incipiente (+/- 30 % da fase líquida) de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda cal se combine como os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial.

Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo que o teor de SO_3 não ultrapasse 3,0 %, a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água. Para ajudar no estudo dos compostos do cimento, é importante considera-los formados pela associação de corpos binários contendo oxigênio, aos quais se dá o nome de componentes. Esses componentes principais, cuja determinação é feita a partir de uma análise química, são: cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), magnésia (MgO), alcalis (Na_2O e K_2O) e sulfatos (SO_3) (PETRUCCI, 2005).

Os concretos, de emprego usual, são constituídos basicamente de uma mistura entre cimento, água, agregados graúdos e miúdos.

Os agregados são considerados materiais inertes, constituem cerca de 60 % a 80 % do concreto e podem ser de origens naturais ou artificiais e formam o esqueleto do concreto. Eles têm uma importância muito grande no concreto, influenciando positivamente sobre algumas características como retração e resistência mecânica (BARBOSA, 2008).

O cimento e a água formam a pasta ligante, que enche a maior parte dos vazios entre os agregados. Algum tempo depois de misturado o concreto, a pasta endurece, formando um material sólido. As propriedades ligantes da pasta são produzidas por reações químicas entre cimento e água. A quantidade de água necessária é pequena, porém se usa uma quantidade superior para obter trabalhabilidade, permitindo também a inclusão de maior quantidade de agregados. Entretanto, a adição de água diminui a resistência do concreto (ANDOLFATO, 2002). Segundo Nicola (2010), o concreto é formado da seguinte maneira:

- Aglomerantes - o cimento é um material cerâmico que, em contato com a água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material de construção usado na construção como aglomerante.
- Agregado Miúdo - a areia usada como agregado miúdo para emprego em argamassas e concretos pode ser classificada como natural (rios, minas, várzeas) e artificial (resíduo fino de pedreiras – pó de pedra). A areia é extraída em unidades de mineração chamadas de areais ou portos de areia, podendo ser extraída do leito de rios, depósitos lacustres, veios de areia subterrâneos (minas) ou de dunas.
- Agregado Graúdo – a pedra para uso como agregado graúdo em construção civil pode ser classificada como natural (pedregulho ou seixo rolado, cascalho) e artificial (pedra britada, argila expandida, escória, etc.). A pedra britada é obtida em uma unidade industrial / mineradora chamada pedreira, onde ocorre a desintegração, por explosão controlada, da rocha que dá origem à brita. Após a detonação da rocha matriz, grandes matacões são transportados para serem triturados em equipamento

chamado britador. Por fim, a brita é passada em peneiras onde é classificada de acordo com sua granulométrica (brita 0, 1, 2, 3, etc.).

- Aditivos - os aditivos são produtos que, adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, modificam algumas propriedades, no sentido de melhorar esses concretos para determinadas condições. Os principais tipos de aditivos são: plastificantes, retardadores de pega, aceleradores de pega, plastificantes retardadores, plastificantes aceleradores, incorporadores de ar, superplastificantes, superplastificantes retardadores e superplastificantes aceleradores.
- Adições - as adições constituem materiais que, em dosagens adequadas, podem ser incorporados aos concretos ou inseridos nos cimentos ainda na fábrica, o que resulta na diversidade de cimentos comerciais. Com a alteração da composição dos cimentos pela incorporação de adições. Os exemplos mais comuns de adições são: escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferrosilício e metacaulinita.

2.1.1.1 Curas no Concreto

A realização da cura é fundamental para assegurar a obtenção da resistência mecânica do concreto e garantir a sua vida útil, de modo que alguns compostos de hidratação favorecem no desenvolvimento da resistência ao longo do tempo (PETRUCCI, 2005).

A cura do concreto é um procedimento fundamental para a hidratação do cimento (SILVA et al., 2012), que consiste em um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual deverá reagir com o cimento, hidratando-o. Este processo favorece a “resistência mecânica à ruptura e ao desgaste, impermeabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos” (BAUER, 2001).

A hidratação consiste numa sequência de reações químicas entre o cimento e a água, ocasionando a transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis. Como resultado tem-se a perda da

consistência, a pega, o endurecimento e o desenvolvimento da resistência da pasta do cimento (ISERHARD, 2000).

Quando se fala em concretos duráveis, sem problemas de fissuras, a cura é um dos fatores que influenciam nessa propriedade do concreto, de modo que a realização de bons métodos evita ou minimiza os efeitos de retração no concreto, causador principal de fissuras (NEVILLE, 1997).

Os ganhos de resistência nos elementos estruturais de concreto possuem uma ligação direta aos métodos adequados de cura. Segundo a norma da ABNT NBR 14931 (2004), elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica igual ou maior que 15 MPa (SANTANA e COSTA, 2010).

O tempo de cura depende das condições ambientais (temperatura, umidade, ventos), da composição do concreto e da agressividade do meio-ambiente durante o uso. Para temperaturas ambientes superiores a 4°C, o período mínimo recomendável de cura para todos os procedimentos é de sete dias ou o tempo necessário para obter 70 % da resistência à compressão especificada, adotando o período que seja menor. Se o concreto é aplicado a uma temperatura ambiente de 4°C ou inferior, deverão ser tomadas precauções para prevenir que o mesmo não seja danificado por congelamento (BAUER, 1991).

Segundo Santana e Costa (2010) e Anvar et al. (2005), os métodos e procedimentos disponíveis para a proteção e cura de concretos são:

- Cura úmida - é o método mais utilizado nos canteiros de obra do Brasil. Sua realização pode ser feita através de molhagem. A temperatura da água é um fator importante, pois o concreto pode apresentar trincas devido à ocorrência de tensões térmicas.
- Cura química - caracteriza-se pela utilização de emulsões aquosas de aspecto leitoso a base de hidrocarbonetos parafínicos, resinas sintéticas ou compostas que são aplicados ao concreto após a desforma ou quando desaparece a água livre da superfície.
- Cura ao ar - quando não é realizada a cura, ou seja, quando acontece cura ao ar do concreto, os cuidados tomados são mínimos de modo que o concreto fique

exposto aos efeitos de temperatura e umidade do ambiente no qual esteja solicitado. No entanto, este procedimento pode trazer alguns efeitos danosos ao concreto, como problemas de fissura causados por retração (NEVILLE, 1997).

- Cura a vapor - as peças são submetidas a um ambiente de vapor de água a temperatura de 70°C, sob pressão ou não, favorece extremamente o rápido endurecimento do concreto, que atinge, após 1 dia de cura, resistências que podem ser parecidas com aquelas desenvolvidas aos 28 dias, quando for utilizada cura úmida normal. Sabe-se que nos processos de fabricação seriada de peças pré-moldados, nos quais o fator tempo é premente, a cura a vapor sob pressão é bastante usual, resultando, em geral, produtos de alta qualidade (BAUER, 1991).
- Cura por alagamento ou imersão - método de cura com água mais satisfatório, porém, menos utilizado. Consiste na imersão total, em água, da superfície do concreto, logo após seu adensamento (BAUER, 1991).

2.1.1.2 Propriedades do Concreto

2.1.1.2.1 *Consistência Concreto Fresco*

A consistência do concreto fresco é uma propriedade relacionada com o estado de fluidez da mistura. A consistência adequada é fundamental para garantir a trabalhabilidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o concreto pode ser colocado num certo tipo de forma, sem segregação (ANDOLFATO, 2002).

A consistência do concreto pode ser medida por diversos métodos, entretanto o mais utilizado é através do ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), conforme a norma da ABNT NBR NM67 (1998) ou pelo espalhamento do tronco de cone, conforme a norma da ABNT NBR NM68 (1998), a Figura 2.1 ilustra a realização do ensaio do abatimento do tronco do cone.

Figura 2.1 – Ensaio do abatimento do tronco do cone



Fonte: Própria (2012).

Um concreto pode ser seco, plástico ou fluido de acordo com o sistema de adensamento, quais sejam: rolagem, prensagem, centrifugação, vibração, adensamento manual ou auto-adensamento (MOREIRA, 2009).

Conforme a norma da ABNT NBR 8953 (2011), a classificação do concreto pela sua trabalhabilidade em centímetros do abatimento do ensaio slump test, são divididas em cinco classes:

- S10 - concretos com consistência seca, que vão desde o abatimento 10 mm até 45 mm;
- S50 - concretos pouco trabalháveis, que vão desde o abatimento 50 mm até 95 mm;
- S100 - concretos de aplicação normal, que vão desde o abatimento 100 mm até 155 mm;
- S160 - concretos plásticos aplicados por bombeamento, que vão desde o abatimento 160 mm até 215 mm;
- S220 - os concretos fluídos.

Segundo Andolfato (2002), a consistência e a trabalhabilidade dependem da composição do concreto, e em particular, da quantidade de água, da granulometria dos agregados, da presença de aditivos, etc.

2.1.1.2.2 Resistência à compressão axial

A resistência mecânica a compressão é a principal propriedade do concreto no seu estado endurecido, pois nas estruturas a função deste material é essencialmente resistir às tensões de compressão, enquanto as armaduras têm a função de resistir às tensões de tração (COSTA e APPLETON, 2002). O concreto é conhecido como excelente, quando submetido a esforços de compressão e deixa a desejar sob esforços de tração. Ainda segundo Petrucci (2005), a resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão.

A resistência pode ser definida como a tensão última aplicada ao elemento que provoca a desagregação do material que o compõe, ou ainda, como a capacidade do material de suportar ações aplicadas sem que ele entre em colapso, a Figura 2.2 mostra a realização do ensaio de resistência à compressão axial (ISAIA, 2005).

Figura 2.2 – Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Própria (2013).

Considerando concretos em iguais condições de mistura, lançamento, adensamento, cura e condições de ensaio, suas resistências são influenciadas por: relação água/cimento, relação agregado/cimento; granulométrica, forma, textura superficial, resistência e rigidez dos grãos do agregado; dimensão máxima

característica do agregado, gráudo. A relação água/cimento é o principal fator de influência (NEVILLE, 1997 e DANTAS, 2004).

O engenheiro deverá estar ciente que ao adotar determinada classe de cimento haverá uma influência direta sobre a resistência do concreto (SOUZA, 2007).

Giannusso (1992) e Sampaio (2013) afirmam que, o tipo do cimento afeta não só a resistência do concreto, mas também o comportamento dessa resistência ao longo do tempo. A Tabela 2.1 mostra a resistência a compressão média do concreto, em MPa em função da relação água/cimento para vários tipos de cimento brasileiro.

Tabela 2.1 - Resistência média do concreto, em MPa em função da relação água/cimento para vários tipos de cimento brasileiro

Tipos e Classes do Cimento	Relação a/c				
	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
CPI 32	28	32	37	41	47
CP II 32	24	28	31	35	39
CP II 40	28	32	36	41	46
CP III 32	23	27	31	36	41
CP III 40	27	32	37	42	49
CP IV 32	24	28	32	36	41
CP V ARI RS	30	33	38	42	46
CP V ARI	33	38	42	47	53

Fonte: Helene e Andrade (2007).

NEVILLE (1997) também comenta que a resistência, para qualquer relação água/cimento, depende das propriedades físicas e químicas e do grau de hidratação do cimento, da temperatura do ambiente durante a hidratação, do teor de ar no concreto, das variações da relação água/cimento efetiva, da fissuração devido à exsudação. Influenciam, também, o consumo de cimento na mistura e as condições da interface agregado-pasta de cimento (DANTAS, 2004).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, com a norma da ABNT NBR 8953 (2011), classifica os concretos em 3 grupos, sendo os grupos I e II concretos estruturais e um grupo de concretos não estruturais que seriam os fck 10 MPa e o 15 MPa. Os concretos do grupo I começam com o fck 20 MPa e vão até o fck 50 MPa. Os concretos do Grupo II são considerados de alto desempenho e começam com fck 55 MPa e atingem até fck 100 MPa. Esta classificação é realizada em função da resistência do mesmo, sendo apresentada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação do concreto por grupos de resistência

Grupo não Estrutural	Resistência à compressão (MPa)	Grupo I de Resistência	Resistência à compressão (MPa)	Grupo II de Resistência	Resistência à compressão (MPa)
C10	10	C20	20	C55	55
C15	20	C25	25	C60	60
		C30	30	C70	70
		C35	35	C80	80
		C40	40	C90	90
		C45	45	C100	100
		C50	50		

Fonte: Norma ABNT NBR 8953 (2011).

A norma da ABNT NBR 12655 (2006), determina o método de controle da resistência à compressão do concreto. Este é o documento que estipula os controles de aceitação para cada tipo de estrutura a ser executada utilizando este material. Mehta e Monteiro (2008), também classificam o concreto quanto à resistência à compressão, salientando que este tipo de classificação é predominante na Europa e em muitos outros países, mas não é utilizada nos Estados Unidos.

- Concreto de baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa.
- Concreto de resistência moderada: resistência de compressão de 20 a 40 MPa.
- Concreto de alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa.

Normalmente o concreto utilizado em calçadas é considerado como concreto de baixa resistência e são confeccionados com resistência média à compressão de 10 MPa, conforme Costa (2011).

2.1.1.2.3 Resistência à compressão diametral

Segundo Meira (2009), este ensaio é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, foi desenvolvido pelo professor Fernando Luiz Lobo Carneiro, no ano de 1943. É um ensaio simples e fornece resultados mais uniformes que os de tração indireta e o ensaio é realizado conforme a norma da ABNT NBR 7222 (2011).

Após algumas verificações, idealizou-se o método de determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Figura 2.3.

Figura 2.3 - Rompimento do corpo de prova por compressão diametral



Fonte: Vieira e Dal Molin, 2011.

Segundo De Larrard (1992), a resistência à tração por compressão diametral atinge o seu valor máximo por volta dos 14 dias de cura, ao contrário da resistência à compressão, que pode aumentar 10 a 20 % de seu valor após os 14 dias de cura. Devem levar em consideração que estes valores são estimados para concretos sem

adições minerais, com isso os percentuais podem sofrer alterações, conforme o tipo de concreto analisado.

2.1.1.2.4 Permeabilidade e Absorção do Concreto

O concreto pode ser definido como um material poroso. Isso se deve pela impossibilidade de preencher totalmente os vazios do agregado com uma pasta de cimento (SAMPAIO, 2013). Apresentando poros de diferentes tipos e tamanhos, distribuídos aleatoriamente na microestrutura.

Esta porosidade tem implicação nas propriedades mecânicas e possibilita o ingresso de fluidos capazes de provocar a degradação do concreto e conforme Souza (2007), todo o concreto é permeável dentro de uma dada escala, pois absorve certa quantidade de água.

Segundo Dantas (2004) e Mehta e Monteiro (2008), a porosidade do concreto é influenciada principalmente pela relação água/cimento, pela composição química e finura do cimento, pelo grau de hidratação e pelo tipo teor de adição. A relação água/cimento e o grau de hidratação são os principais fatores que influenciam o transporte de líquidos ou gases pelo concreto. Altas relações água/cimento e baixo grau de hidratação implicam numa alta porosidade capilar da pasta, devido à perda da água evaporável.

Na evaporação da água ocorre um volume de poros conectados, aumentando a permeabilidade do concreto. Por outro lado, com o aumento da hidratação da pasta de cimento, o volume de gel gerado vai ocupando os espaços, ocupados anteriormente pela água, reduzindo a permeabilidade.

2.1.1.2.5 Massa Específica

De acordo com Helene e Terzian (1993), a massa específica do concreto no estado endurecido é influenciada pela massa específica dos seus componentes e as proporções na mistura. A granulometria, forma e textura dos grãos também podem influenciar, já que podem proporcionar uma melhor distribuição, ocupando o máximo de espaço no interior do concreto, reduzindo a porosidade e, conseqüentemente,

aumentando a massa específica. A massa específica é determinada de acordo com a norma da ABNT NBR 9778 (2009).

2.1.1.2.6 *Retração*

Denomina-se retração à redução de volume que ocorre no concreto, mesmo na ausência de tensões mecânicas e de variações de temperatura.

A retração plástica é reservada para concretos frescos e são inúmeros os fatores que podem influenciar a retração, tais como: as condições ambientais, tipo litológico do agregado, dimensão máxima característica, propriedades físicas (absorção, massa específica) e elásticas do agregado, proporção dos materiais (principalmente a quantidade de água), micro fissuras (interface pasta/agregado gráudo, assim como pela aderência entre os mesmos (ANDRADE, 1997 e MEIRA, 2009).

Segundo Pinheiro (2007), as causas da retração são:

- Retração química: contração da água não evaporável, durante o endurecimento do concreto.
- Retração capilar: ocorre por evaporação parcial da água capilar e perda da água adsorvida. A tensão superficial e o fluxo de água nos capilares provocam retração.
- Retração por carbonatação: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (ocorre com diminuição de volume).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

O termo resíduo deriva do latim “residuu” e significa resto. Os resíduos sólidos, uma das formas da poluição industrial, indicam ineficiência do processo produtivo, representando, quase sempre, perdas de matérias primas e insumos (JACOMINO et al., 2002).

O conceito de lixo e de resíduo pode variar conforme a época e o lugar. Depende de fatores jurídicos, econômicos, ambientais, sociais e tecnológicos. Para

alguns, lixo está associado ao poder público e resíduo é um material que tem valor comercial, sendo o lixo um material descartado que não tem valor comercial (CALDERONI,1999).

Segundo a norma da ABNT NBR 10004 (2004), resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

2.2.1 Classificação dos Resíduos

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias primas, os insumos e o processo que lhe deu origem. De acordo com a norma da ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos são classificados em perigosos e não perigosos.

Resíduos Classe I – Perigosos

Esses resíduos apresentam periculosidade, característica que é função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podendo apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente quando manuseados e destinados de forma inadequada.

Resíduos sólidos que apresentarem pelo menos uma das características quanto à inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, também podem ser classificados como resíduos sólidos classe I.

Resíduos Classe II – Não perigosos

- Resíduos Classe II A - Não Inertes

Incluem-se nesta classe os resíduos potencialmente biodegradáveis, combustíveis ou solúveis, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I.

- Resíduos Classe II B – Inertes

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007 (2004), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006 (2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.2.2 Resíduos Sólidos Industriais

Segundo a resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, resíduo sólido industrial é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido e gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e emissões atmosféricas (OLIVEIRA e NEVES, 1999).

Segundo a Lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (2010), as indústrias têm precedência das soluções de redução, reutilização e reciclagem às formas de disposição final de seus resíduos.

Entretanto, no Brasil observa-se grande carência de informações sobre os aspectos quantitativos e qualitativos dos resíduos gerados, o tipo de armazenamento utilizado, coleta e transporte, as formas de reutilização e reciclagem, e os tipos de tratamento e destinação final (BRINGHENTI, 2004).

O crescimento das atividades industriais traz, sem dúvida, benefícios econômicos para o país, estados e municípios. No entanto, estas atividades, geram resíduos que necessitam ser gerenciados adequadamente, a fim de garantir a preservação do meio ambiente e a promoção da saúde pública. A melhor alternativa para a atenuação dos problemas advindos dos Resíduos Sólidos é a implantação de uma política e/ou programa de gestão voltada para minimização da geração, reutilização, reciclagem, tratamento e adequada destinação final (BRINGHENTI, 2004).

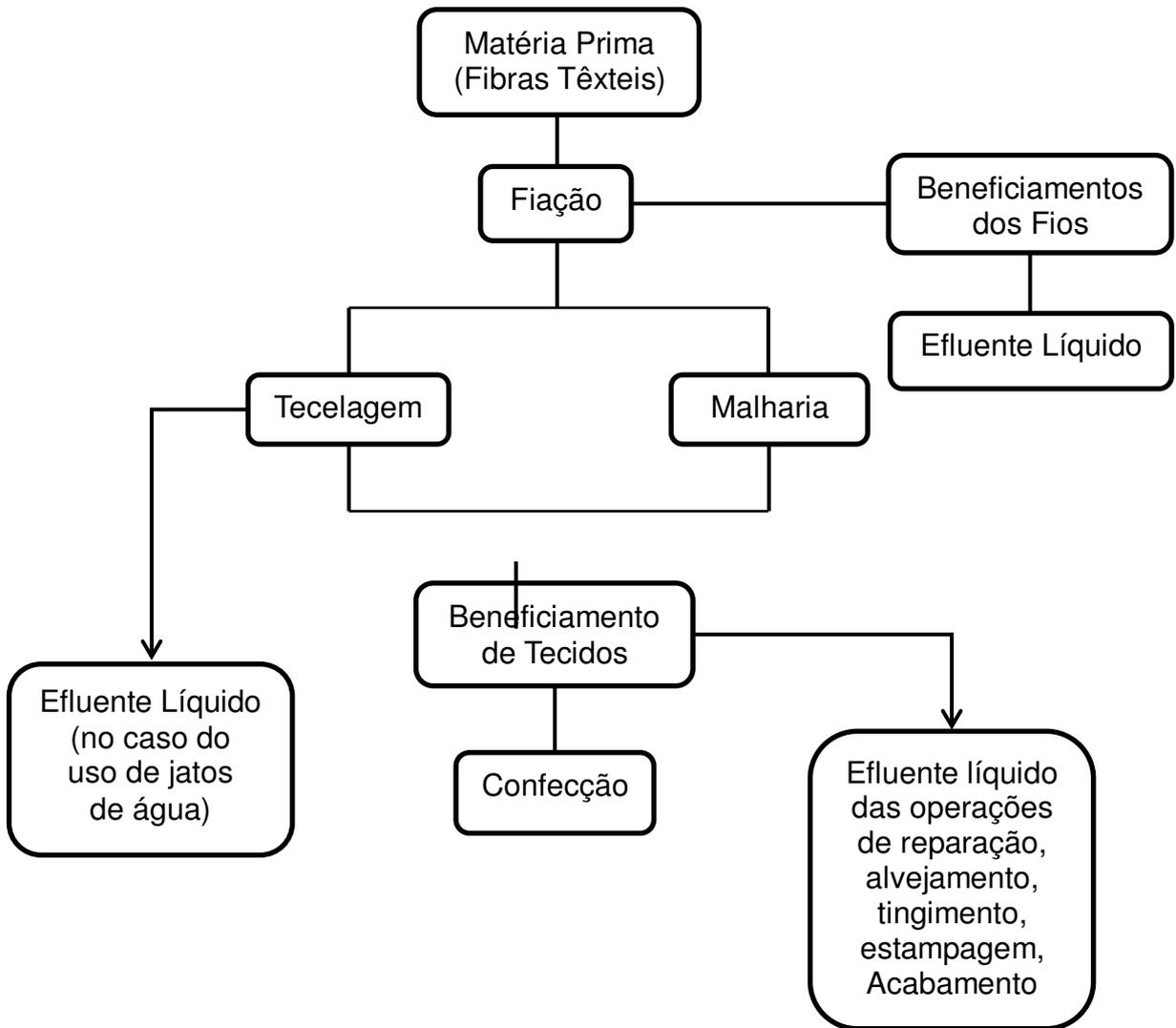
Segundo Araújo e Sellin (2008), nas estações de tratamento de efluentes, a geração de resíduos sólidos (lodo), é uma constante fazendo-se necessário o uso de alternativas para seu gerenciamento.

2.3 LODO TÊXTIL

A geração do resíduo (lodo) da indústria têxtil ocorre após o tratamento de suas efluentes e segundo Bortoti (2012), os processos têxteis são grandes consumidores de água, além de corantes sintéticos e produtos químicos, sendo responsáveis pela geração de grandes volumes de efluentes complexos, com alta carga orgânica, aliada a elevado teor de sais inorgânicos.

Conforme Pôrto (2002), a estrutura geral da cadeia produtiva da indústria têxtil, encontra-se na Figura 2.4.

Figura 2.4- Fluxograma da cadeia Têxtil

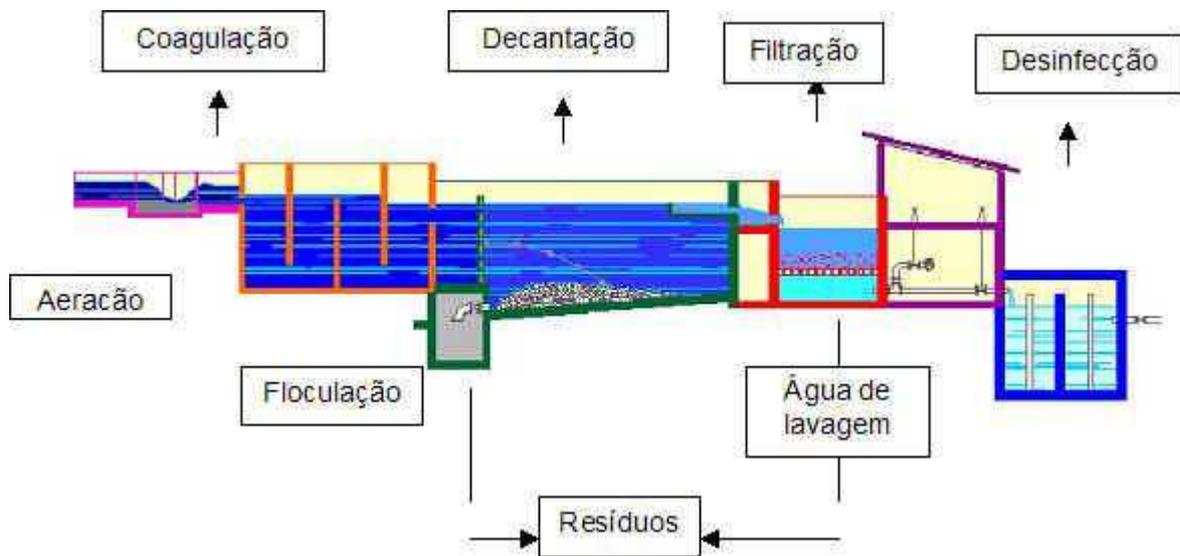


Fonte: Pôrto (2002).

Os efluentes são tóxicos e geralmente não biodegradáveis, sendo também resistentes à degradação via tratamento físico-químico. Este fato se deve a presença de alto conteúdo de corantes não fixados, surfactantes e aditivos que geralmente são compostos orgânicos de estruturas complexas. Desta maneira o descarte destes no ecossistema é uma fonte dramática de poluição estética, de eutroficação e de perturbações na vida aquática (BORTOTI, 2012).

Segundo Pereira (2002), o tratamento é realizado em estações de tratamento de efluentes (ETE) situadas geralmente junto ao parque industrial (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Estações de tratamento de efluentes



Fonte: FEC. UNICAMP, 2013.

Conforme Prim (1998), os efluentes passam por uma série de tratamentos físicos, biológicos e químicos onde se utilizam em algumas etapas muitos produtos químicos, para que o efluente ao final do tratamento obtenha as características exigidas pelos órgãos ambientais, a fim de que esse possa ser lançado em corpos d'água.

O lodo têxtil é composto basicamente de água, óxidos de minerais, matéria orgânica e também dos esgotos sanitários da indústria. A água na composição do lodo é proveniente do processo de fabricação de tecidos, os óxidos de minerais presentes vêm da poeira em suspensão no ar e nas instalações da fábrica e do processo de tingimento, onde são usados pigmentos inorgânicos, que quando aplicados em excesso, se desprendem dos tecidos, contribuindo para a formação de resíduos. A matéria orgânica presente se deve as fibras tecidas e a bactérias usadas no ETE (GUEDES, 2012).

A Figura 2.6 apresenta o decantador secundário, que é parte da estação de tratamento de efluentes da COTEMINAS.

Figura 2.6 – Decantador secundário na estação de tratamento de efluentes (ETE) da COTEMINAS



Fonte: Própria, 2011.

O lodo é oriundo da prensagem do material decantado nas estações de tratamento de efluentes podendo conter metais pesados e outros componentes tóxicos, uma vez que, nos processos têxteis e no tratamento de efluentes são usados produtos, tais como: soda, polímeros, corantes, sais ácidos, gomas, sulfato de alumínio, sulfato de ferro e cal, entre outros.

Esses efluentes sem o devido tratamento podem provocar a morte da fauna e flora aquáticas, assim como a interferência nos processos de fotossíntese dos corpos d'água atingidos. Além deste fato, estudos têm mostrado que algumas classes de corantes e seus subprodutos podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (ANTONIALI et al., 2006).

Observa-se na Figura 2.7 o aspecto do lodo têxtil quando prensado ao fim do processo das ETE da empresa COTEMINAS.

Figura 2.7 – Lodo Têxtil gerado na ETE



Fonte: Própria, 2011.

De acordo com a classificação fornecida pela norma NBR 10004 (2004), o resíduo gerado no processo industrial têxtil deve ter uma disposição correta devido à sua composição complexa, pois utilizam corantes nos processos de tingimento, além de soda, polímero, sulfato de alumínio, ferro, cal e produtos utilizados no tratamento de efluentes.

Este resíduo sólido conhecido como “lodo” não pode ser disposto no ambiente, pois além de sua composição variada, este lodo é solúvel em água, e quando colocado em contato com a natureza sem nenhum tratamento pode causar poluição (HEREK, 2005).

O resíduo pode ser empregado na agricultura, incinerado ou estabilizado. O resíduo após estabilização pode ser uma matéria prima alternativa no desenvolvimento de novos materiais e produtos ou enviado para aterros industriais (PEREIRA, 2010).

O desenvolvimento de novos materiais para a construção civil com lodo têxtil poderá, além de reduzir os custos, diminuir também os impactos ambientais causados pelo resíduo da indústria têxtil, ressaltando que a realocação dos resíduos para outros fins, faz com que seja cumprida a legislação aplicável em defesa do meio ambiente.

2.4 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Com estes ingredientes os problemas têm atingido dimensões catastróficas, podendo ser observadas através de alterações na qualidade do solo, ar e água (KUNZ, 2006). Tornando o termo sustentabilidade muito empregado nos mais diversos setores, industriais, acadêmicos, comerciais e também para a construção civil.

Ainda vale salientar que o desenvolvimento sustentável não nega a necessidade do progresso tecnológico. Segundo Donaire (1999), o desenvolvimento sustentável tem três vertentes principais: crescimento econômico, igualdade social e equilíbrio ecológico.

O desenvolvimento tecnológico deve ser orientado para metas de equilíbrio com a natureza e de incremento de capacidade de inovação dos países em desenvolvimento; o progresso deve significar a integração de maior riqueza, maior benefício social equitativo e equilíbrio ecológico (COELHO, 2005).

O desenvolvimento pode ser compatível com o equilíbrio ecológico, situações irreversíveis como a destruição da biodiversidade ou o esgotamento de certas matérias-primas devem ser evitadas. Por isso, o adequado gerenciamento de resíduos constitui uma alternativa que contribui para alcançar o desenvolvimento sustentável, uma vez que permite economia de capital natural como é matéria-prima, energia, água e de saneamento ambiental reduzindo a poluição do ar, água, solo e subsolo (CALDERONI, 1999).

Na busca de soluções que minimizem as agressões ao ambiente, tem-se o setor da construção civil, um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos.

O aproveitamento dos rejeitos industriais, como materiais alternativos não é novo, e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo. Algumas das principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais são os esgotamentos das reservas de matérias primas confiáveis bem como o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam espaço e

degradam os recursos naturais. Nesse sentido, a incorporação de resíduos industriais em matriz cerâmica para utilização na construção civil vem sendo amplamente estudada. A construção civil é um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos (RAMOS et al., 2009).

Atualmente, um número crescente de publicações tem abordado o estudo da utilização de resíduos industriais na produção de artefatos destinados à construção civil. Destaca-se a aplicação de resíduo industrial na produção de blocos e tijolos cerâmicos e cimentícios, telhas, lajotas para piso e forro, bloquetes para piso e tubos cerâmicos. Os estudos estão focados em alguns resíduos de interesse, como a lama de estações de tratamento de água e efluentes, cinzas de usinas hidrelétricas, areias de fundição, refugos de mineração, escórias de fornos, resíduos de serragem de granito, entre outros (LUCAS e BENATTI, 2008).

2.4.1 Concretos Alternativos

Entre as alternativas de tratamento e disposição final de resíduos industriais disponíveis, a incorporação desses resíduos em materiais de construção apresenta-se como uma solução técnica viável e de grande potencial de crescimento, possibilitando, ainda, redução nos custos dos produtos obtidos. Esta alternativa para a disposição final de resíduos industriais pode, ainda, contribuir para a sustentabilidade do país, por meio da redução do uso de recursos naturais não renováveis e do consumo de energia, aumento da vida útil dos aterros sanitários, geração de novos empregos e diminuição de impactos ambientais, gerando mais qualidade de vida para os cidadãos e para o planeta (LUCAS e BENATTI, 2008).

Prim (1998) estudou a valorização do lodo da indústria têxtil como material de construção civil utilizando a técnica de solidificação/ estabilização com cimento e cinzas pesadas de carvão. Obteve-se resistências mecânicas apreciáveis comparadas as exigidas para confecção de bloco vasado de concreto simples para alvenaria estrutural, tijolo maciço cerâmico e argamassas. Observou-se também a absorção de metais nas amostras com cinza pesada.

Leite (2001) mostrou que de forma geral o uso de resíduos da construção civil como agregados é perfeitamente viável para produção de concretos, pelo menos do ponto de vista das propriedades mecânicas avaliadas.

Moreira et al. (2001), fizeram estudos com lodo têxtil para utilização em cerâmica vermelha. Os resultados mostram que é possível obter materiais de construção (cerâmica vermelha) com boas propriedades mecânicas usando a quantidade apropriada de argila e lodo, bem como argilas de natureza adequada e aplicação de tratamento térmico apropriado.

Coelho (2005) estudou a utilização de grãos reciclados de polipropileno em matriz de concreto. Os resultados obtidos em ensaios com misturas com agregados minerais foram satisfatórios permitindo o desenvolvimento de vários concretos com resistência à compressão axial adequado para a produção de elementos pré-fabricados, concretos porosos adequados para drenagens e enchimento de lajes, painéis e blocos de concreto, dentre outras aplicações. Houve uma redução superior a 30 % do peso final do concreto por meio da redução da massa específica.

Hoppen et al. (2005) realizaram um estudo da incorporação do lodo de estação de tratamento de água em matriz de concreto, em substituição parcial à areia e concluíram que uma proporção inferior a 7 % resulta em um concreto de melhor desempenho. Por meio da análise conjunta de fatores como trabalhabilidade, resistência mecânica, massa específica, absorção da água e consumo de matéria-prima, pôde-se concluir que a incorporação do lodo em teores inferiores a 10 % diminuir a resistência do concreto, ainda assim continua dentro dos padrões aceitáveis pela construção civil.

Rolim (2010) estudou a viabilidade da incorporação de resíduos de EVA (Poliacetato de Etileno Vinil) em blocos de concreto. A incorporação deste resíduo apresentou algumas vantagens em relação aos convencionais fabricados com concreto puro, como menor peso, maior uniformidade, leveza de dimensões maiores que as convencionais; excelente capacidade de aderência à argamassa de reboco e outros tipos de acabamento, permitindo uma economia nos acabamentos; e, ainda, menor custo de transporte, devido à relação peso/volume do produto.

Herek et al., (2009) em seus estudos, apresentaram a adição de lodo têxtil em blocos cerâmicos, com traços de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % em peso. Observou-se nos resultados dos ensaios que a resistência à compressão é inversamente

proporcional a quantidade de lodo adicionada, enquanto a absorção de água é diretamente proporcional à mesma quantidade de lodo presente nos tijolos. De acordo com o estudo é possível à fabricação de tijolos de vedação com até 20 % de lodo têxtil em sua composição.

Costa (2011) pesquisou a incorporação de lodo de estação de tratamento de água em matriz de concreto. A análise de viabilidade da utilização do lodo como agregado foi realizada utilizando ensaios de compressão axial e compressão diametral. Estes ensaios demonstraram que, para os traços que utilizam 5 %, 10 % e 20 % de lodo, foi obtida resistência à compressão bastante satisfatória e, para compressão diametral, o lodo interfere sensivelmente nos resultados, sendo recomendadas porcentagens próximas de 10 %. Logo, concluiu-se que a utilização do lodo em concretos para calçadas é viável nas porcentagens de até 10 %.

Guedes (2012) estudou a utilização de até 20 % de lodo têxtil na composição de argamassas, depois de tratamentos térmicos nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C. Os ensaios de resistência à compressão indicaram que todas as composições de argamassas apresentaram resultados que atendem ao mínimo estipulado pelas normas da ABNT em vigência.

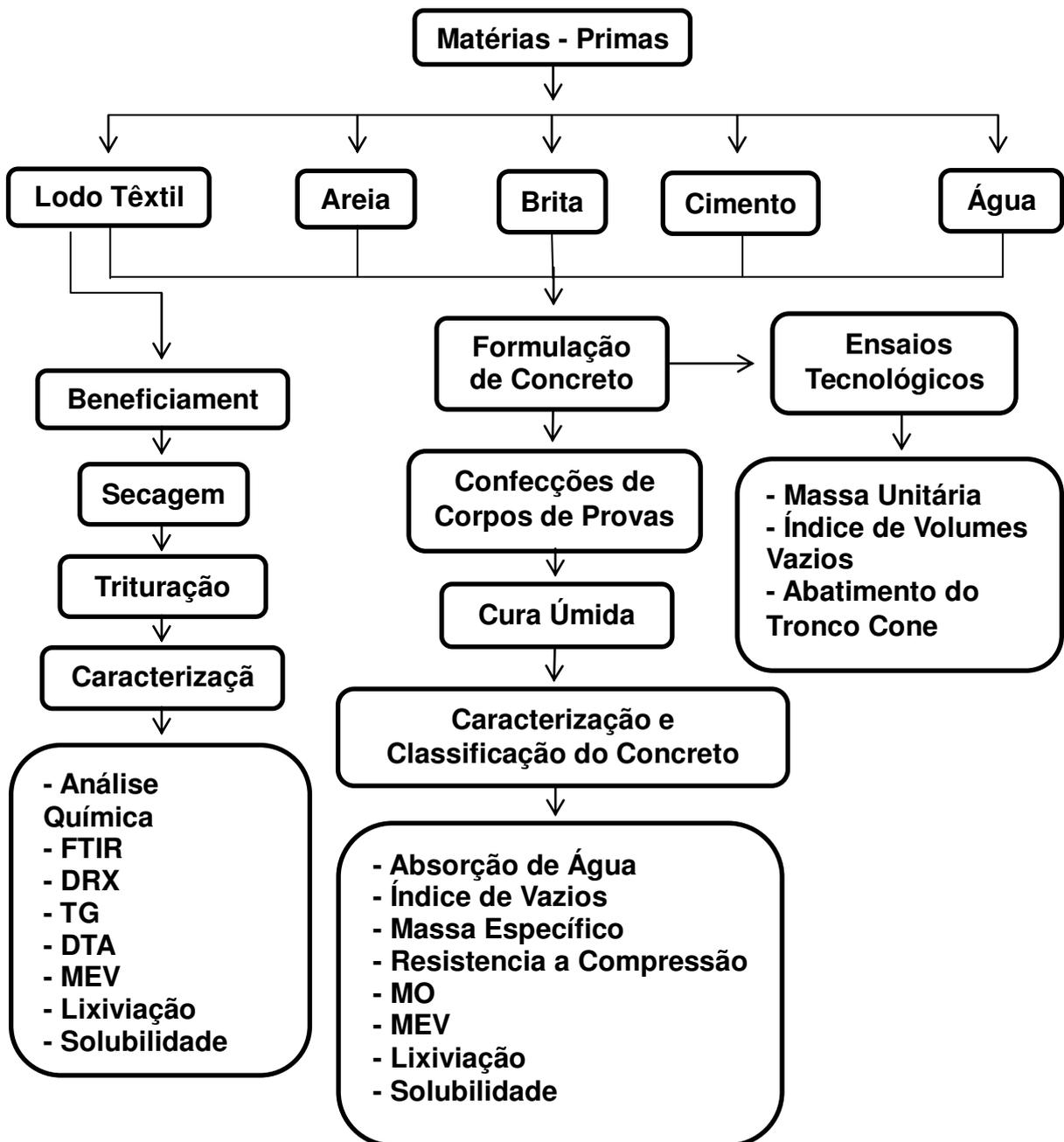
Diante do exposto, uma alternativa viável é a utilização do lodo têxtil em materiais de construção como o concreto.

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGIA

A caracterização e preparação dos concretos foram realizadas nos Laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande. A Figura 3.1 apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa.

Figura 3.1 - Fluxograma da metodologia utilizada



3.1 MATERIAIS

Neste trabalho de pesquisa foram utilizados os materiais relacionados a seguir:

Lodo Têxtil

O Lodo têxtil foi proveniente da indústria Coteminas S.A., localizado no distrito industrial de João Pessoa - PB. Este material chegou no laboratório com alto teor de umidade (Figura 3.2 a) e em saco plástico, sendo submetido inicialmente a um processo de secagem utilizando uma temperatura de 110°C, por 24 horas e, posteriormente, foi triturado.

Brita 0 e Areia Normal

A Brita 0 e a Areia Normal foram provenientes de pedreiras da cidade de Campina Grande - PB, localizada na região metropolitana.

Cimento

Foram adquiridos no comércio de Campina Grande - PB, do tipo Portland, referência o CP II F-32, todos do mesmo lote. Os sacos de cimento foram revestidos com saco de polietileno para evitar hidratação. Segundo a ABCP (2002), o CP II F-32 é usado para aplicações gerais, preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros.

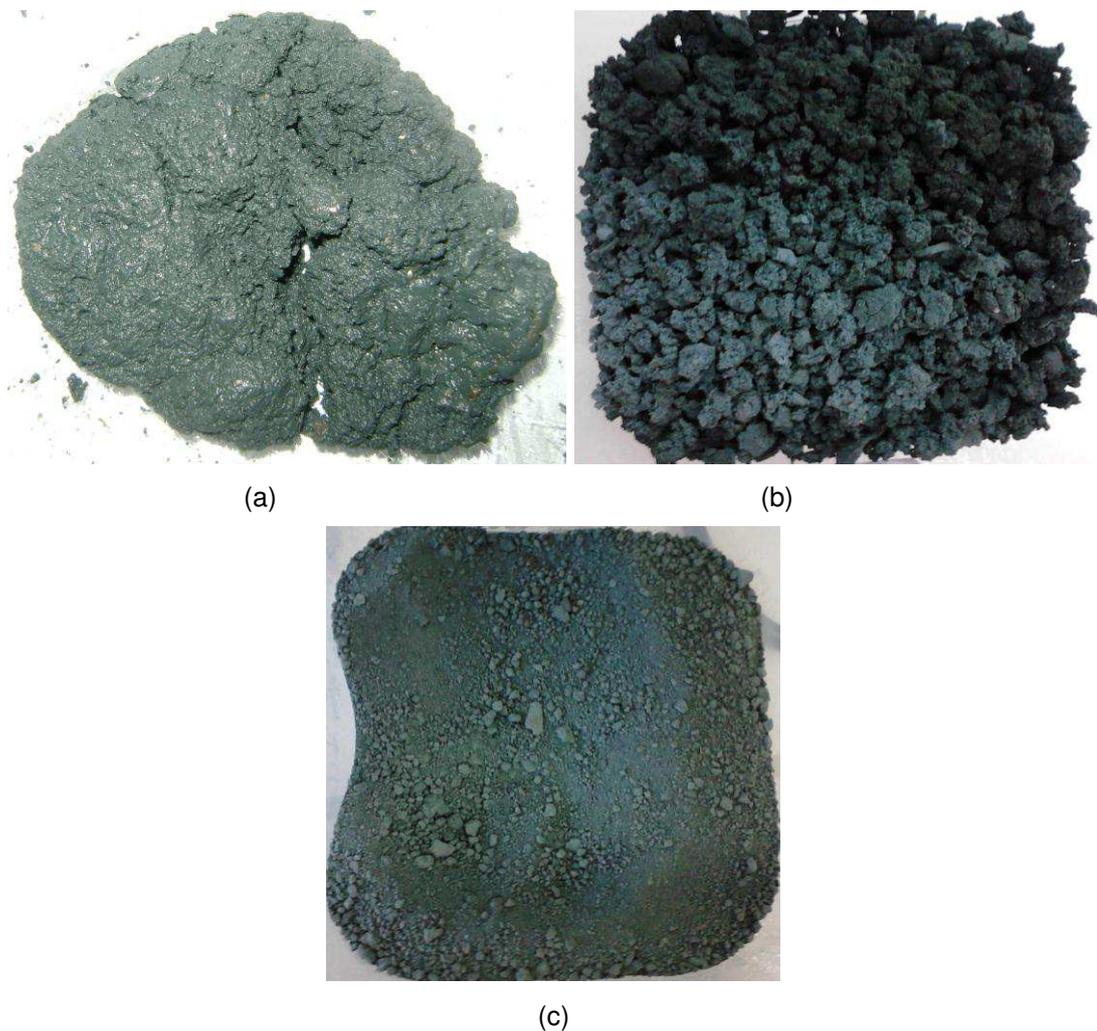
Água

Foi utilizada água canalizada proveniente do açude Epitácio Pessoa, da cidade de Boqueirão, no estado da Paraíba, fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) ao município de Campina Grande.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO TÊXTIL

Após ter sido submetido ao processo de secagem (Figura 3.2 b), o lodo têxtil foi triturado (Figura 3.2 c) e submetido aos seguintes ensaios de caracterização: Análise Química, Espectrometria Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier, Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Difração de Raios-X, Microscopia Eletrônica de Varredura, Lixiviação e Solubilização.

Figura 3.2 - Lodo têxtil cedido pela Coteminas, lodo úmido (a), lodo seco a 110°C (b) e lodo triturado (c)



Fonte: Própria (2011).

3.2.1 Análise Química

O lodo têxtil foi submetido à análise química, segundo técnicas clássicas e instrumentais, seguindo a metodologia adotada pelo Laboratório de Análises Mineraias da Universidade Federal de Campina Grande. A análise química forneceu dados essenciais de grande utilidade industrial e científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas. As determinações foram: perda ao fogo, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, TiO₂, K₂O, MgO, Na₂O.

3.2.2 Espectrometria Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de absorção na região do infravermelho do lodo têxtil, foram obtidos em um espectrofotômetro marca Perkin Elmer Precisely, modelo FT-IR/FT-NIR na região compreendida entre 4000 e 400 cm⁻¹. Para obtenção dos espectros de infravermelho às análises foram realizadas diretamente na amostra. Com o objetivo de estudar as bandas características e os grupos funcionais do lodo.

3.2.3 Termogravimetria / Análise Térmica Diferencial (TG/DTA)

As curvas TG/DTA foram obtidas em uma termobalança, marca TA Instruments, modelo SDT 2960 - Simultaneous TGA-DTA, em atmosfera de nitrogênio com cadinho de platina, fluxo de 50 mL.min⁻¹ e razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹, em uma faixa de temperatura desde a ambiente até 1000°C. A massa utilizada foi em torno de 4,0 ± 0,5 mg.

3.2.4 Difração de Raios-X (DRX)

Para a determinação e a quantificação das fases presentes, a cristalinidade e o tamanho do cristalito do lodo foram realizados o difratômetro de Raios X da Shimadzu, modelo XRD-6000 com radiação utilizada de K α de Cu (40 kV/30 Ma); a velocidade do goniômetro de 2°/min e passo de 0,02°.

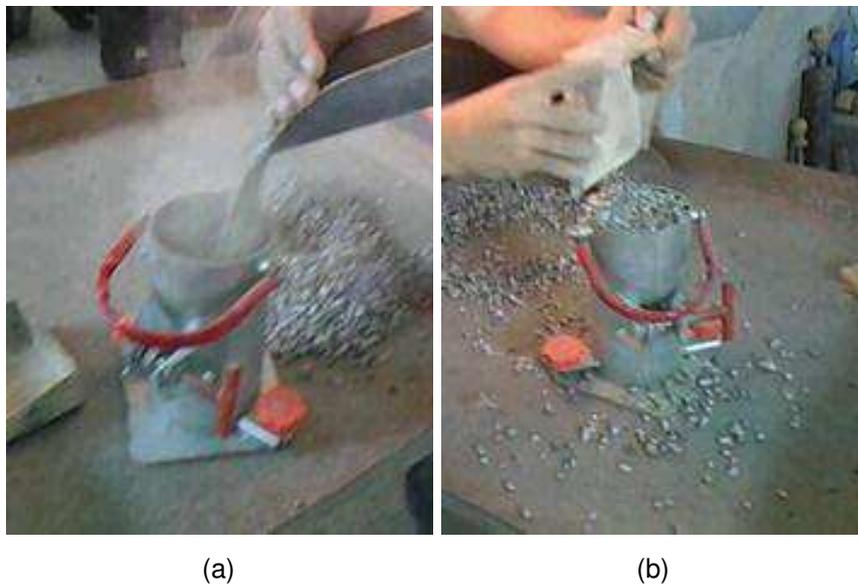
3.3 FORMULAÇÕES DOS CONCRETOS

Os concretos tem na sua formulação lodo têxtil (resíduos industriais), cimento, areia e brita foram preparados no Laboratório de Reciclagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

3.3.1 Dosagem dos Traços

Inicialmente foram realizados ensaios para determinar a melhor proporção entre os agregados (lodo, areia, água e brita) com o objetivo de encontrar a massa unitária no estado compactado seco (Figura 3.3), conforme ABNT NM 45 (2006).

Figura 3.3 – Ensaio de determinação da massa unitária



Fonte: Própria (2012).

Com o concreto fresco foi utilizando o ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 3.4), especificado pela norma ABNT NBR NM 67(1998), que determina a consistência do concreto.

Figura 3.4 – Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Própria, 2012.

Devido à heterogeneidade dos agregados que compuseram os diversos traços, bem como a complexidade do comportamento do concreto, foram necessário adotar um método de dosagem segura, econômica e que se adequa às características do cimento, areia, brita e do lodo. Foram utilizados métodos experimentais, tais como: ABCP, CIENTEC e do IPT (O'REILLY, 1998; BARBOSA, 2008).

Foram confeccionados corpos de prova do traço convencional, tomados como referência, e corpos de prova dos compósitos, conforme traços de dosagens 1:m = 1:a:b:c. O cimento é representado por "1" e a letra "m" representa os agregados: areia "a", brita "b" e lodo têxtil "c".

Os valores de traços determinados foram 1:3 e 1:4. As diferentes misturas foram processadas em misturador de concreto (Tabela 3.1).

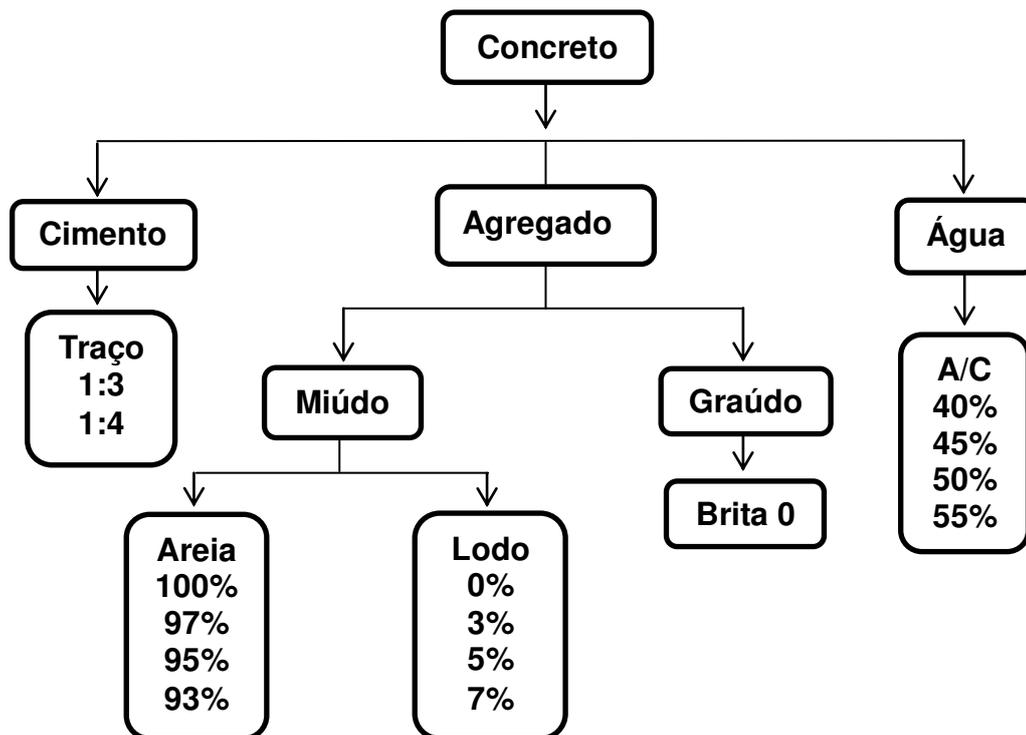
Tabela 3.1 – Traço dos corpos de provas de concretos

Traço 1:m = 1:a:b:c	Lodo (%)	Traço de Concreto			
		1	a	b	c
1:3	0	1	1,500		----
	3	1	1,455	1,500	0,045
	5	1	1,425		0,075
	7	1	1,395		0,105
1:4	0	1	2,000		----
	3	1	1,940	2,000	0,060
	5	1	1,900		0,100
	7	1	1,860		0,140

O cimento é representado por “1” e a letra “m” representa os agregados. A letra “a” representa a areia, “b” brita e “c” o lodo.

Na Figura 3.5 são apresentadas as composições dos concretos utilizados nos seguintes traços 1:3 e 1:4 que foram utilizados para avaliar as propriedades do concreto.

Figura 3.5 – Fluxograma da composição dos concretos



3.3.2 Confeção e Moldagem dos Corpos de Prova

Com a determinação dos traços 1:3 e 1:4, foram confeccionados corpos de prova em formato cilíndrico com 100 x 200 mm (diâmetro e altura) para todas as composições, seguindo os procedimentos para moldagem conforme a norma NBR 5738 (2008).

Na Figura 3.6, mostra o procedimento de preenchimento dos corpos de prova.

Figura 3.6 – Moldes cilíndricos sendo preenchidos com o traço determinado (a) e Moldes cilíndricos após preenchimentos com o traço determinado (b)



Fonte: Própria (2012).

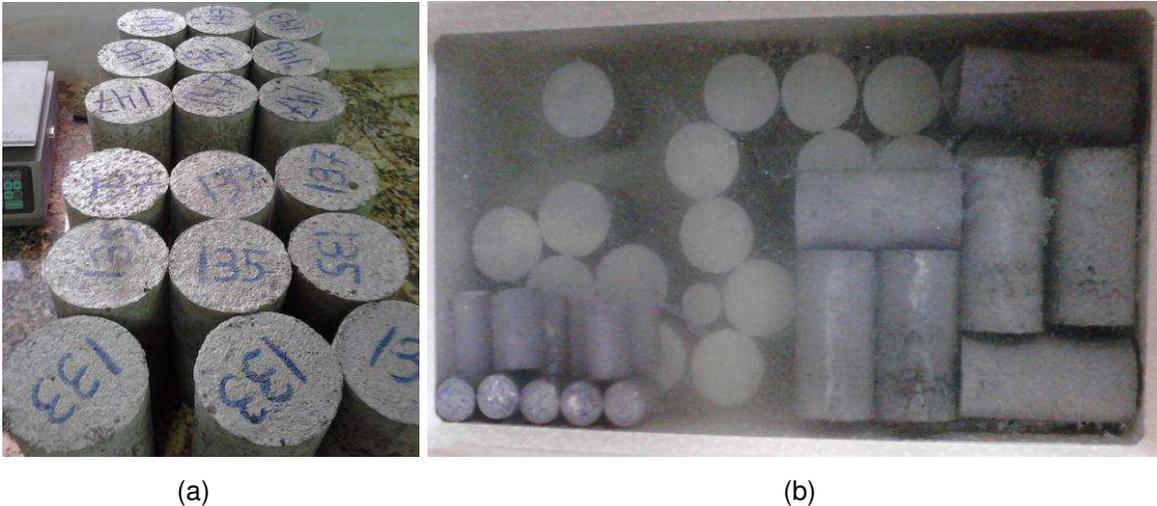
3.3.3 Cura dos Corpos de Prova

Após desmoldados dos corpos de prova, foi realizado a cura utilizando câmara úmida por 7, 28 e 60 dias, com solução saturada de hidróxido de cálcio, segundo a norma ABNT NBR 5738 (2008).

Conforme Oliveira e Barbosa (2006), em compostos à base de cimento Portland o hidróxido de cálcio ajuda produzir produtos mais estáveis para o cimento hidratado.

Utilizou-se uma caixa de isopor com capacidade de 135 (cento e trinta e cinco) litros. Os corpos de provas de diferentes traços foram identificados e acondicionados na caixa com temperatura ambiente, conforme Figura 3.7.

Figura 3.7 – Corpos de prova (a) e cura dos corpos de prova (b)



Fonte: Própria, 2012.

3.4 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

Para realização dos ensaios mecânicos foram utilizados 3 (três) corpos de provas para cada traço e foi calculado a média aritmética.

3.4.1 Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica

Para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto endurecido foram utilizados corpos de provas de 5 x10 cm (comprimento e altura) e os ensaios foram de acordo com os procedimentos da ABNT - NBR 9778 (2009), “Absorção de Água, Índices de Vazios e Massa Específica” (Figura 3.8).

A Figura 3.8 apresenta os corpos de provas e o equipamento de ebulição de água contida no Banho Maria, marca SOLAB.

Figura 3.8 – Corpos de prova (a) e Banho Maria (b)

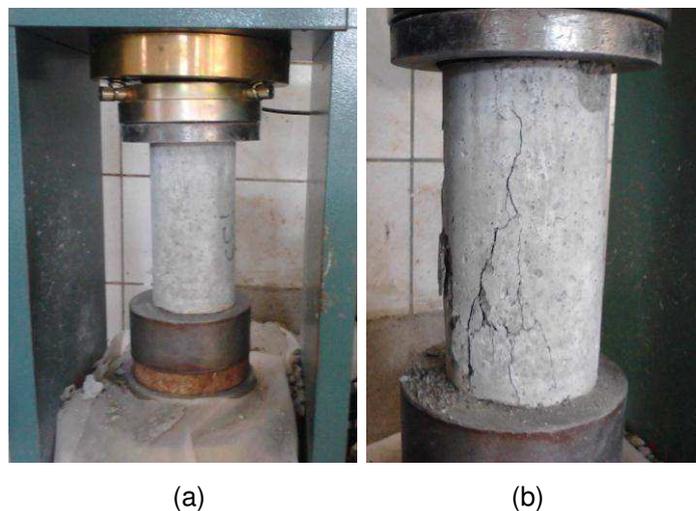


Fonte: Própria, (2013).

3.4.2 Resistência à Compressão Axial Simples

Após a moldagem e cura os corpos de prova secos ao ar, de acordo com a norma da ABNT NBR 6136 (2007), foram submetidas ao ensaio de Resistência à Compressão de acordo com a norma da ABNT NBR 5739 (1994). Para realização deste ensaio foi utilizado uma prensa eletro-hidráulica computadorizada de fabricação da EMIC, de capacidade 2000 kN, conforme Figura 3.9.

Figura 3.9 – Ensaio de resistência à compressão axial simples, (a) corpo de prova colocado na prensa e (b) após ser submetido ao ensaio de resistência



Fonte: Própria, 2013.

3.4.3 Resistência à Compressão Diametral

Foi realizado o ensaio de compressão diametral utilizando uma prensa conforme a norma da ABNT NBR 7222 (2011). Foi utilizada uma prensa eletro-hidráulica computadorizada de fabricação da EMIC, de capacidade 2000 kN. A Figura 3.10, apresenta os corpos de provas depois do ensaio de compressão diametral.

Figura 3.10 – Corpos de prova depois do ensaio de resistência à compressão diametral, com teores de 0% de lodo textil (a) e 7% de lodo textil (b)



Fonte: Própria, (2013).

3.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

3.5.1 Microscopia Óptica

Foram realizadas microscopias ópticas no lodo têxtil e nos corpos de prova de concretos com teores de lodo têxtil de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % e nos traços de 1:3 e 1:4, com os seguintes aumentos de 160X, utilizando um Microscópio Óptico da Innovation Beyond Imagination, modelo USB Digital Microscope com taxa de ampliação de 20X a 800X.

Para obtenção das micrografias, os corpos de provas de concreto foram cortados, conforme Figura 3.11.

Figura 3.11- Amostra cortada do corpo de prova de concreto



Fonte: Própria (2014).

3.5.2 Microscopia Eletrônica Varredura

O lodo têxtil e os corpos de prova de concretos com teores de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % e no traço 1:3, foram analisados em um microscópio eletrônico de varredura, marca Shimadzu, modelo SuperScan SS500, com feixes de elétrons secundários e tensão de aceleração de elétrons de 10.000 KW. As amostras cortadas de concreto foram recobertas com uma camada condutora eletrônica (recobrimento em ouro), conforme Figura 3.12.

Figura 3.12 – Amostra de concreto cortada (a) e Amostras com o recobrimento de ouro (b)



(a)

(b)

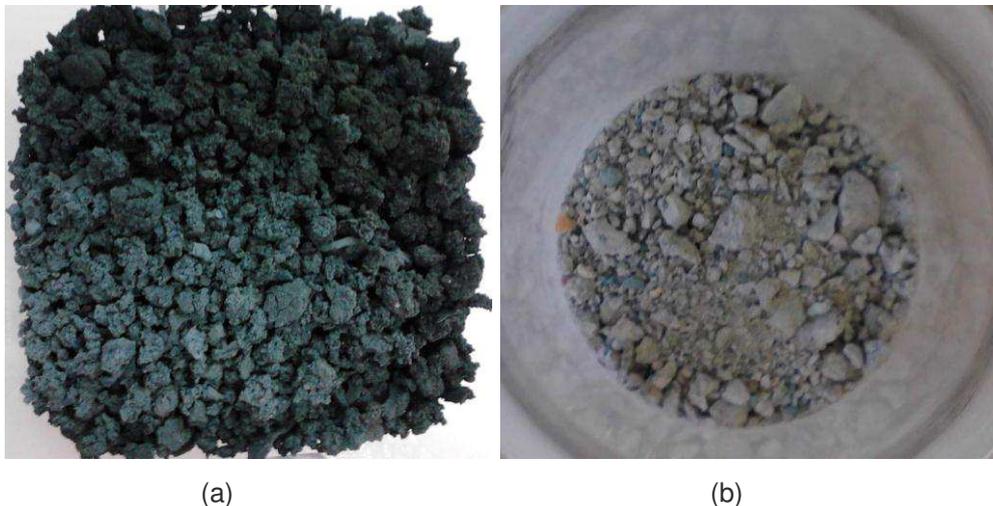
Fonte: Própria (2014).

3.6 CLASSIFICAÇÃO

Foram classificados ambientalmente o lodo têxtil e os corpos de prova de concreto, para avaliar a imobilização dos contaminantes e determina a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos-LABGER, na Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande.

Os corpos de prova foram triturados e peneirados em uma peneira de malha de 9,5 mm. Em seguida foram submetidos aos ensaios de lixiviação e solubilização o lodo têxtil (Figura 3.13 a) e os corpos de prova triturados de traço 1:3 (Figura 3.13 b).

Figura 3.13 – Lodo têxtil (a) e corpos de prova triturados e peneirados (b)



Fonte: Própria (2013).

3.6.1 Ensaio de Lixiviação

O ensaio de lixiviação foi realizado seguindo a norma da ABNT NBR 10005 (2004), uma amostra representativa de 100 g (base seca) foi colocada em recipiente de 2000 mL com água destilada e com uma solução lixiviante (ácido acético glacial e água). Depois, a solução foi submetida à agitação, em um equipamento rotativo com 30 rotações por minuto (Figura 3.14), com uma relação líquido-sólido igual à 20:1 e tempo de contato com o meio lixiviante de 20 horas.

Figura 3.14 – Realização do ensaio de lixiviação com o equipamento rotativo

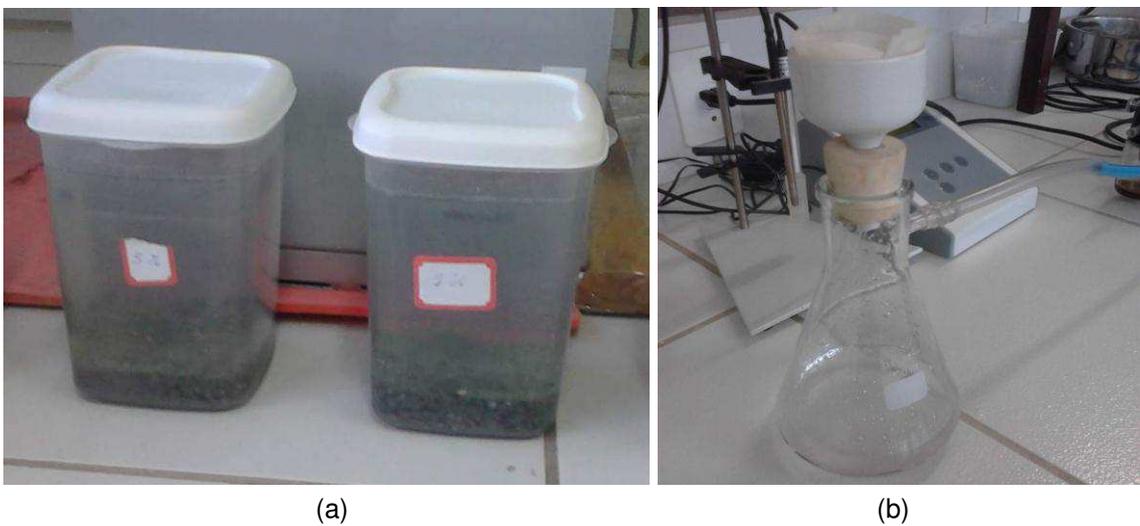


Fonte: Própria (2013).

3.6.2 Ensaio de Solubilização

Os procedimentos adotados para o ensaio de solubilização foram de acordo com norma da ABNT a NBR 10006 (2004), que consiste em utilizar 250 g corpo de prova triturado em um recipiente e adicionar 1000 mL de 33 mL água deionizada. O recipiente é coberto e deixado em repouso por sete dias (Figura 3.15 a), em temperatura até 25°C. O filtrado obtido é denominado de extrato solubilizado (Figura 3.15 b).

Figura 3.15 – Realização do ensaio de solubilização (a) e obtenção do extrato solubilizado por filtração (b)



Fonte: Própria (2013).

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÕES DO LODO TÊXTIL ESTUDADO NA COMPOSIÇÃO DOS CONCRETOS

4.1.1 Análise Química

A Tabela 4.1 apresenta a composição química do lodo, seco em estufa à 110°C, durante 24 horas.

Tabela 4.1 - Composição química do lodo

SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	PF	RI
47,86 %	3,19 %	1,81 %	1,68 %	0,65 %	0,16 %	0,07 %	43,18 %	0,58 %

PF– perda ao fogo; RI- resíduo insolúvel.

Na Tabela 4.1 é observado que os óxidos predominantes na composição do lodo têxtil foram SiO₂, Al₂O₃, MgO e CaO. A grande quantidade de sílica (47,86 %) indica a compatibilidade com um dos constituintes do cimento, matéria prima dos materiais de construção (ARRUDA et al., 2007).

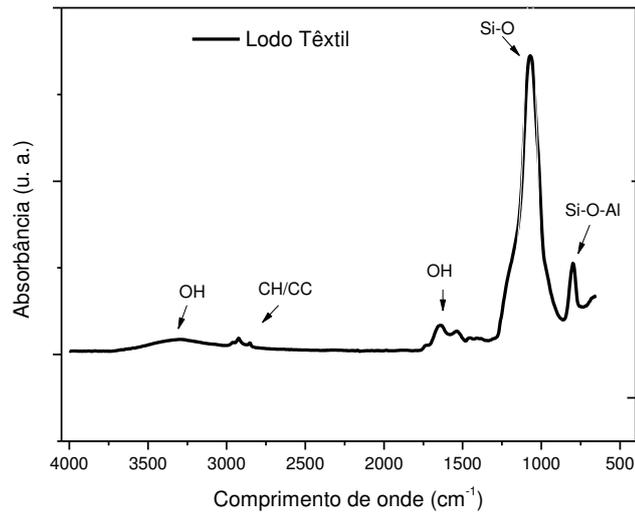
Os teores encontrados de alumínio, ferro, manganês, potássio e sódio são provavelmente resultado do processo fabril que utilizam corantes e elementos fixadores de pigmento e também do tratamento dos efluentes têxteis (PRIM, 1998 e GUEDES, 2012).

O lodo têxtil teve alta perda ao fogo que foi de 43,18 %, que está relacionada com a quantidade de matéria-orgânica existente. Uma perda ao fogo excessiva acarreta retração e porosidade (PINHEIRO, 2008).

4.1.2 Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier

A Figura 4.1 ilustra o espectro de absorção na região do infravermelho do Lodo têxtil seco à 110°C.

Figura 4.1 Espectro de infravermelho do Lodo e do resíduo do Lodo



Fonte: Própria (2012).

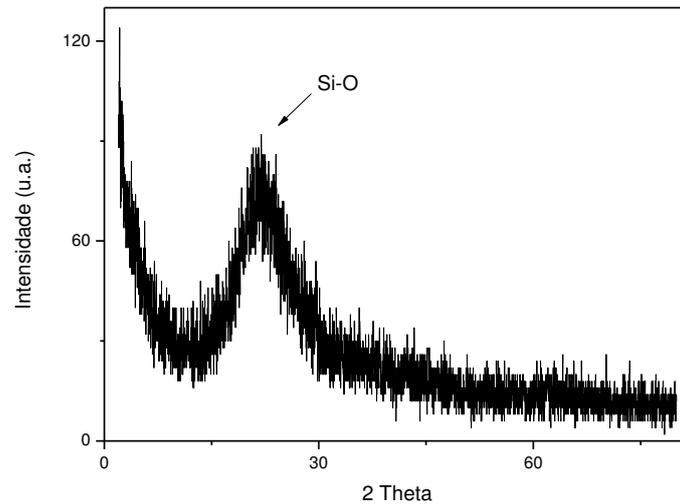
Verifica-se que a amostra de lodo à 110°C apresentou uma pequena banda em torno 3350 cm^{-1} , atribuída ao grupo OH, este resultado está em concordância com as pesquisas de Martins (2006). A banda em 1080 cm^{-1} é característica das vibrações de Si-O que pode ocorrer na região de 900 a 1100 cm^{-1} , resultado também encontrado por Nakamoto (1970).

Já a banda em 2920 cm^{-1} é atribuída à deformação axial de C-H e C-C, que é encontrada na região de 3000 a 2840 cm^{-1} e indica a presença de matéria orgânica, valores também encontrados por Martins (2006). Além das bandas 798 e 1640 cm^{-1} , que indica deformações para o grupamento C-H. A Tabela apresentando as principais bandas de absorção na região do infravermelho do lodo seco 110°C em 400 e 4000 cm^{-1} , encontra-se no Apêndice A.

4.1.3 Difração de Raios-X

A Figura 4.2 apresenta o Difratoograma do lodo têxtil, que foi seco na temperatura de 110 °C e peneirado.

Figura 4.2 – Difratoograma da amostra de lodo têxtil seco



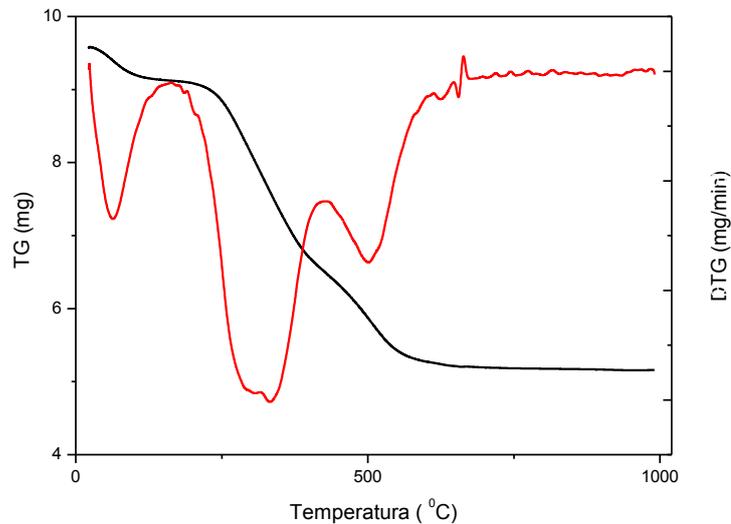
Fonte: Própria (2012).

Pode-se observar na Figura 4.2 uma banda em torno de 25° proveniente da fase quartzo alfa que segundo os estudos de Santos (1980), que é uma variação de sílica amorfa, o que evidencia o estado amorfo do lodo têxtil, corroborando com os dados de Tallini (2009). O quartzo é o principal componente na fabricação de vidros e melhora as propriedades dos materiais cerâmicos, como dureza e aspecto vítreo (CASTRO, 2010).

4.1.4 Termogravimetria e Derivada da Termogravimetria

A Figura 4.3 apresenta as curvas TG/DTG da amostra de Lodo Têxtil, a razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹ e em atmosfera de nitrogênio, onde se verifica três etapas de perda de massa.

Figura 4.3 – Curvas TG/DTG do Lodo, obtidos à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, em atmosfera de nitrogênio



Fonte: Própria (2013).

A Tabela 4.2 apresenta as etapas de decomposição, faixas de temperatura, temperatura de pico e perda de massa para o Lodo estudado. Onde se verifica que a amostra, apresentou temperatura inicial de decomposição em 23°C , indicando a baixa estabilidade térmica.

Tabela 4.2 – Dados da decomposição térmica do Lodo Têxtil, obtido à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, em atmosfera de nitrogênio

Amostra	Etapas de Decomposição	Faixas de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura de Pico ($^{\circ}\text{C}$)	Perda de Massa	
				%	mg
Lodo	1	23-158	68	4,7	0,45
	2	158-427	308	27,5	2,63
	3	427-982	506	14,0	1,34

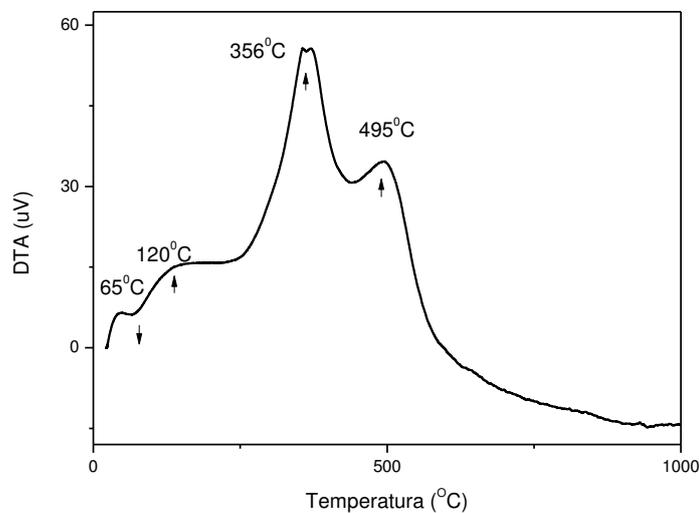
Observou-se que a primeira etapa de decomposição, ocorreu na faixa de temperatura de $23\text{-}158^{\circ}\text{C}$, com perda de massa de 4,7 %, o que pode ser atribuído à perda de água. Já a segunda etapa foi mais significativa com perda de massa de 27 %, na faixa de temperatura de $158\text{-}427^{\circ}\text{C}$, que pode ser atribuído à decomposição

da matéria orgânica, e a terceira etapa de decomposição, ocorreu na faixa de temperatura de 427-982°C, com perda de massa de 14 %, que está associada também a matéria orgânica, com total de cinzas de 53,8 %. Já a perda ao fogo de 46,2 % corroborando com a análise química.

4.1.5 Análise Térmica Diferencial

A Figura 4.4 apresenta a curva DTA do Lodo Têxtil, obtida a razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹ e em atmosfera de nitrogênio.

Figura 4.4 – Curva DTA do Lodo, obtida à razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹, em atmosfera de nitrogênio



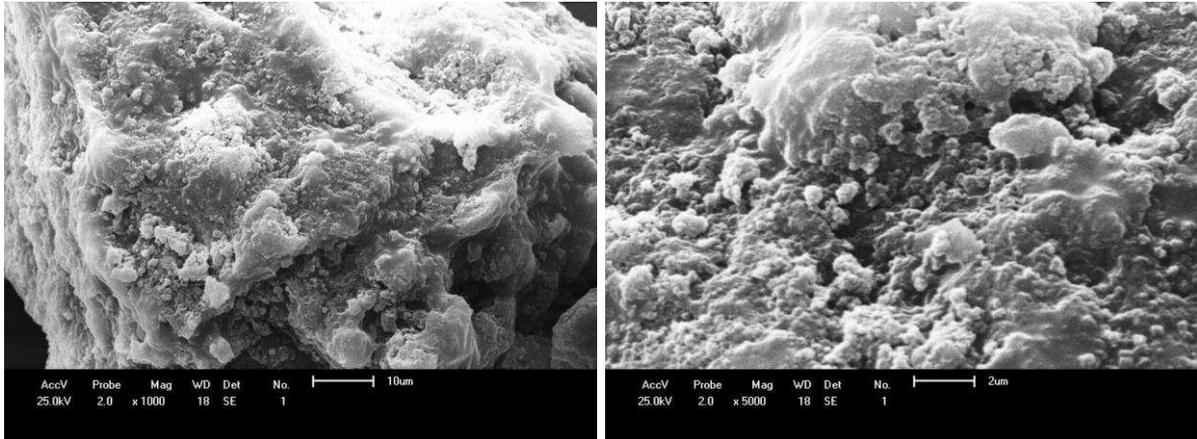
Fonte: Própria (2013).

Observando a Figura 4.4 verifica-se que o lodo têxtil apresentou uma banda endotérmica com máximo em 65°C e uma banca exotérmica 120°C, que pode ser atribuído a presença de água livre, e duas bandas exotérmicas com máximo em 356°C e 495°C, que provavelmente estão relacionadas com a oxidação e decomposição de matéria orgânica presente no lodo, este resultado corrobora com os obtidos por Moreira (2001).

4.1.6 Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 4.5 são apresentadas a micrografias do lodo têxtil, com aumentos de 1000X e 5000X, que foram realizadas no microscópio eletrônico de varredura.

Figura 4.5 – Micrografias do lodo têxtil, com aumento 1000X (a) e 5000X (b)



(a)

(b)

Fonte: Própria (2013).

As Figuras 4.5 (a e b) apresentam alguns aspectos morfológicos do lodo por meio de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Pode-se observar que a morfologia do lodo indica material com aglomeração de partículas, formatos irregulares, tamanhos variados e sem estrutura lamelar, este aspecto é típico dos grãos de Lodo. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Tartari et al., (2011).

4.1.7 Classificação

O lodo têxtil foi classificado ambientalmente por meio do ensaio de lixiviação e solubilização. Na Tabela 4.3 apresentam os resultados do ensaio de lixiviação e solubilização do Lodo Têxtil, conforme os limites máximos permissíveis para avaliar o critério de imobilização dos contaminantes.

Tabela 4.3 - Metais analisados no lodo têxtil, com o ensaio de lixiviação e solubilização

Elementos	Lixiviação (mg/L)		Solubilização (mg/L)	
	Lodo	Limite	Lodo	Limite
Alumínio ²	<0,100	0,2	0,110	0,200
Bário ¹	0,800	70,0	0,350	0,700
Cádmio ¹	0,011	0,5	<0,005	0,005
Chumbo ¹	0,270	1,0	0,220	0,010
Cobre ³	0,460	2,0	3,840	2,000
Cromo ¹	0,040	5,0	0,055	0,050
Ferro ³	0,760	0,3	1,220	1,300
Manganês ²	0,170	0,1	0,110	0,100
Prata ¹	0,020	5,0	0,030	0,050
Zinco ³	0,056	5,0	0,350	5,000

¹ parâmetros e limites máximos no extrato lixiviado e solubilizado, conforme recomendação da NBR 10.005 (2004) e 10.006 (2004); ² valores baseados no Ministério da Saúde (MS), Portaria n. 2.914 de 2011; ³ valores sugeridos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CESTEB), Portaria n. 195 de 2005.

A Tabela 4.3 mostra que para lixiviação, o Ferro (0,80 mg/L) e o Manganês (0,76 mg/L), ultrapassaram o limite permitido pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e do Ministério da Saúde, respectivamente. Mostrando que as concentrações dos metais nos extrato lixiviado não estão de acordo com os órgãos ambientais, excedendo os limites máximos estabelecidos, indicando que a amostra apresenta um resíduo com características de periculosidade. Logo o Lodo Têxtil analisado é classificado como Resíduo Classe I – Perigosos. Portanto deve ser disposto de modo adequado, de forma a não causar danos ao meio ambiente e aos seres humanos.

Já no ensaio de solubilização a quantidade de chumbo, cobre, cromo e manganês ultrapassaram o limite permitido para o extrato de solubilizado, conforme norma de resíduos sólidos da ABNT NBR 10004, (2004).

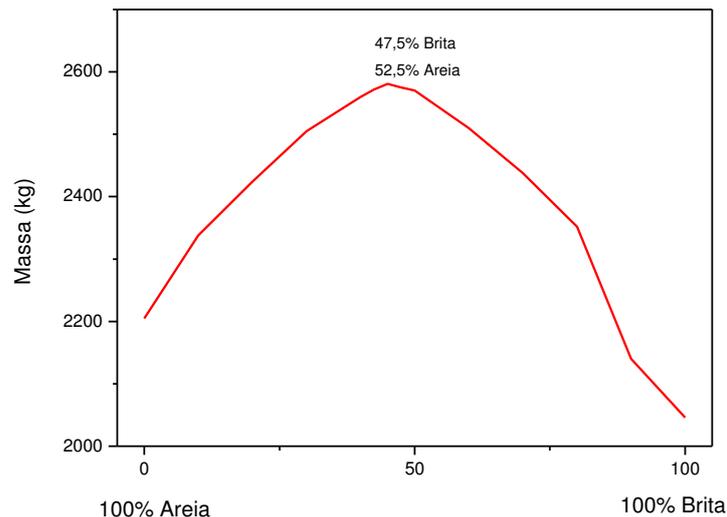
4.2 FORMULAÇÃO DOS CONCRETOS

Foram realizados ensaios tecnológicos para determinar a melhor proporção entre os agregados miúdo e graúdo na composição do concreto.

4.2.1 Índice de Volume de Vazios e Massa Unitária

Para a determinação da mistura entre o agregado graúdo (Brita 0) e o agregado miúdo (areia) foi realizado o ensaio do índice de volume de vazios, para determinar as proporções entre a Brita 0 e areia conforme a Figura 4.6.

Figura 4.6 - Gráfico índice de volume de vazios entre areia e brita



Fonte: Própria (2012).

Verifica-se na Figura 4.6 o aumento gradativo no valor da massa da mistura até atingir 47,5 % brita e 52,5 % areia. Durante o incremento da proporção houve diminuição dos vazios da mistura, depois se observa que começa diminuir o valor da massa, ou seja ocorre aumento dos vazios da mistura.

Determinando que a melhor proporção entre agregado graúdo (brita 0) e agregado miúdo (areia) para a confecção dos corpos de prova de concreto foi 47,5 % brita e 52,5 % areia e o teor da massa unitária da brita foi de 1,30 kg/cm³ e a areia foi de 1,40 kg/cm³.

4.2.2 Abatimento do Tronco do Cone (Slump)

O abatimento de tronco de cone (Slump) para todos os traços analisados pode ser observado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores de abatimento de tronco de cone (slump)

Traço	Lodo	Água/Cimento	SLUMP (cm)
1:3	0 %	40 %	3,2
	3 %	45 %	2,0
	5 %	50 %	2,7
	7 %	55 %	2,3
1:4	0 %	40 %	3,5
	3 %	45 %	1,3
	5 %	50 %	1,9
	7 %	55 %	1,5

Observou-se na Tabela 4.4 que a adição do resíduo de lodo houve uma perda de trabalhabilidade, mesmo aumentando o fator água/cimento. O concreto produzido com lodo têxtil apresentou-se uma menor trabalhabilidade que o concreto de referência, isto pode ser explicado pelo fato do agregado de lodo ter menor peso e maior volume comparado com o agregado natural. Confirmando que a utilização de resíduo reduz a trabalhabilidade, resultados também encontrados Hoppen et al., (2005) e Aquino, (2013).

Então na questão de trabalhabilidade, a substituição da areia pelo lodo têxtil faz com que seja necessário efetuar o ajuste do traço, ou seja, aumentar o fator água/cimento quando adiciona o lodo.

A classe de consistência dos concretos foram S10 e classificados com consistência seca, segundo a norma ABNT NBR 8953, (2011). Sendo indicados para concretos extrusado, vibroprensado ou centrifugado.

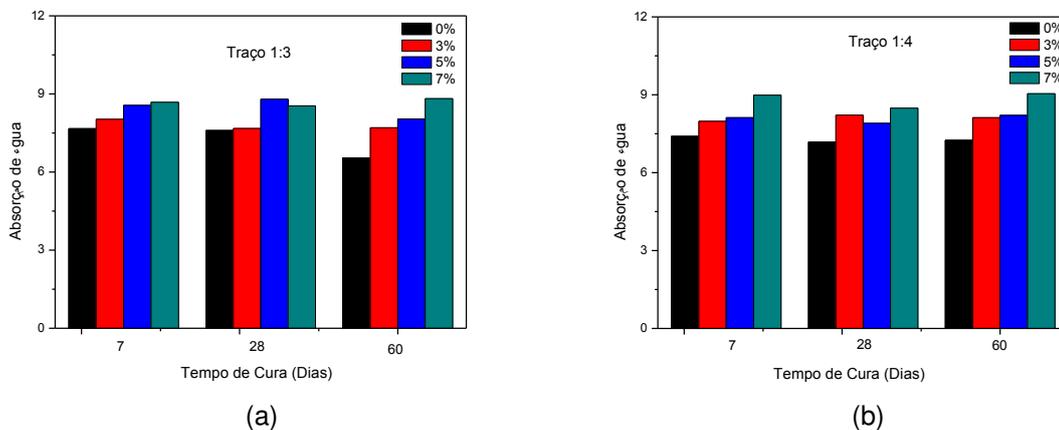
4.3 ENSAIOS FÍSICOS- MECÂNICOS

Foram realizados ensaios mecânicos em corpos de prova de concreto, seguindo a norma ABNT NBR 12041, (2012). Os corpos de prova foram confeccionados usando o seguinte traço 1:3 e 1:4. Os percentuais usados na confecção dos corpos de prova foram de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % de lodo têxtil em substituição do agregado miúdo.

4.3.1 Absorção de Água

Na Figura 4.7 podem ser visualizados os resultados de absorção de água dos corpos de prova de concreto, curados em 7, 28 e 60 dias respectivamente.

Figura 4.7 – Absorção de água dos corpos de prova de concreto com traço 1:3 (a) e traço 1:4 (b), curados em 7, 28 e 60 dias



Fonte: Própria (2013).

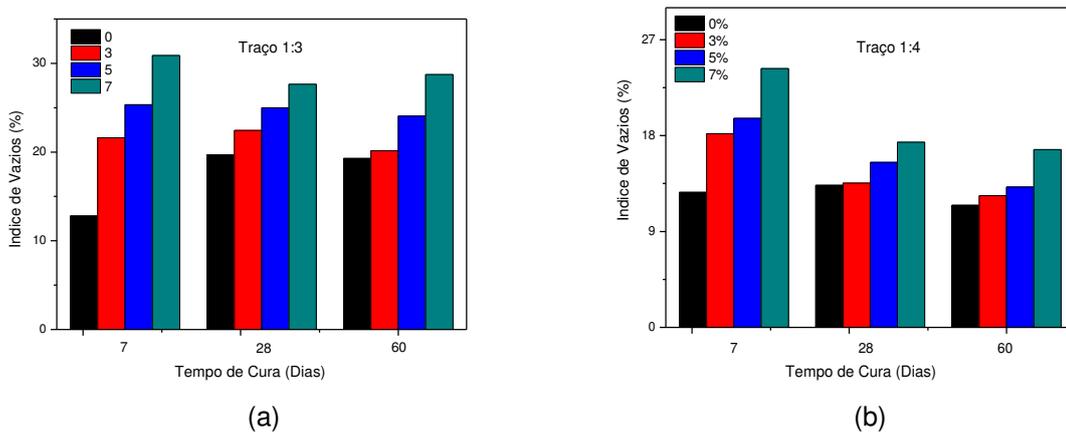
Observa-se na Figura 4.7, que o aumento na absorção de água com o aumento da quantidade de lodo têxtil confirma os resultados encontrados por Levy (2001) e Tenório (2007), que afirmam que quando se adiciona agregado reciclado, ocorre um aumento na absorção de água. Este aumento não é desejável do ponto de vista de durabilidade frente a ambientes agressivos, uma vez que isto propicia o ingresso de elementos prejudiciais ao concreto, conforme Hoppen et al., (2005).

O maior valor de absorção de água obtido foi de 9,04 % no traço 1:4 com cura de 60 dias e 7 % de lodo têxtil e todos os resultados apresentaram valores abaixo de 10 % de absorção de água, podendo ser considerado de boa qualidade, pois segundo Neville (1997), a absorção não é considerada uma medida de qualidade do concreto, no entanto, observa-se que os concretos de boa qualidade apresentam absorção abaixo de 10 %. Podem também ser analisados na Tabela do Apêndice C.

4.3.2 Índice de Vazios

A Figura 4.8 apresenta os valores dos índices de vazios dos traços 1:3 e 1:4 com concretos endurecidos com idades 7, 28 e 30 dias, com teores de lodo têxtil de 0 %, 3 %, 5 % e 7 %.

Figura 4.8 - Índice de vazios dos corpos de prova de concreto, curados em 7, 28 e 60 dias e traços de 1:3 (a) e 1:4 (b)



Fonte: Própria (2013).

Observa-se que os índices de vazios também indicou a mesma tendência observada na absorção de água, como o aumento do incremento de lodo no concreto ocorre o surgimento de mais vazios e de um modo geral, diminui com a idade de cura. Podem também ser analisados na Tabela do Apêndice D. Isso é decorrente da inter-relação entre o índice de vazios e a absorção de água.

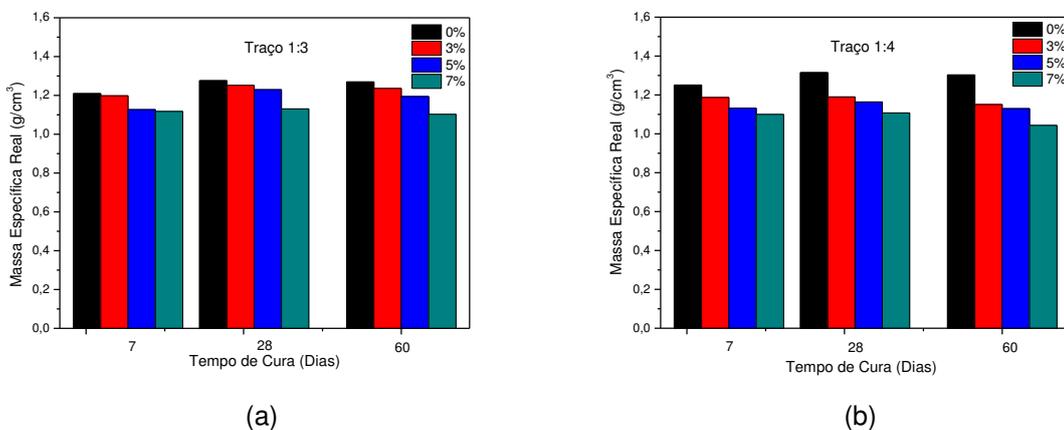
Mostrando que o lodo têxtil torna o concreto mais vulnerável contra a penetração de agentes agressivos.

Conforme Hoppen et al.(2005) uma provável explicação para o aumento do índice de vazios é que o lodo, passa a se comportar como uma “esponja” no interior do concreto fazendo com que a água penetre facilmente no material.

4.3.3 Massa Específica

A Figura 4.9 apresenta a massa específica da amostra do concreto endurecido com idades de 7, 28 e 60 dias, do concreto com 0 %, 3 %, 5 % e 7 % de lodo têxtil.

Figura 4.9 - Massa específica dos corpos de prova de concreto, curados em 7, 28 e 60 dias e traços de 1:3 (a) e 1:4 (b)



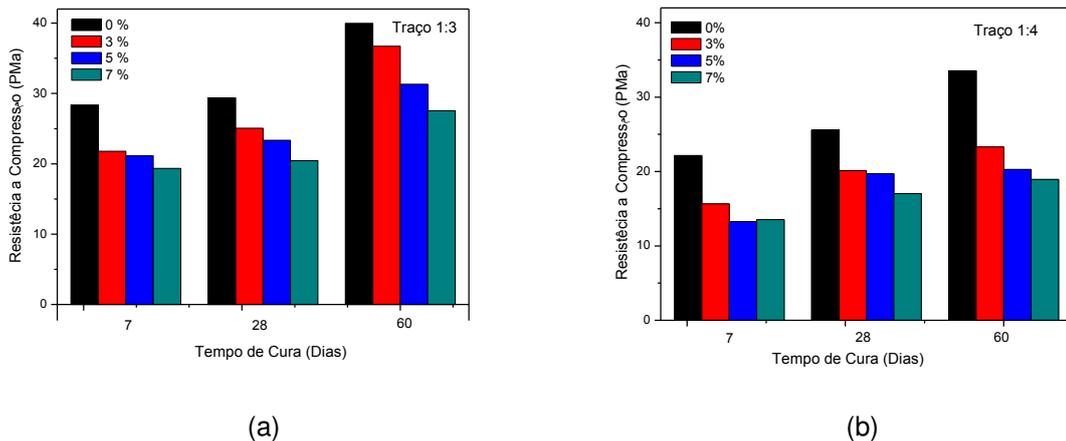
Fonte: Própria (2013).

Observa-se na Figura 4.9, que ocorre uma diminuição da massa específica dos corpos de provas de concreto com o aumento da percentagem de lodo, tanto no traço 1:3, quanto no traço 1:4, mostrando que o lodo têxtil diminui a massa específica do concreto, confirmando os resultados de Hoppen et al. (2005). Podem também ser analisados na Tabela do Apêndice E. Demonstrando que o lodo têxtil influenciou negativamente na porosidade do compósito e corroboram com os resultados de absorção de água e índice de vazios.

4.3.4 Resistência à Compressão Axial Simples

Na Figura 4.10 são apresentados os resultados de resistência compressão simples dos corpos de prova de concreto, curadas em 7, 28 e 60 dias respectivamente.

Figura 4.10 – Gráfico de resistência à compressão simples dos corpos de provas de concreto com traço 1:3 (a) e traço 1:4 (b), curados em 7, 28 e 60 dias



Fonte: Própria (2013).

De acordo com os dados apresentados na Figura 4.10, pode ser observado que a resistência diminui à medida que se aumentou a quantidade de lodo e aumenta com o tempo de cura. Pode-se analisar que os melhores resultados de resistência à compressão axial simples pertencem aos corpos de provas curados por 60 dias e do traço 1:3, devido ao aumento do tempo de cura e o menor teor de lodo em relação traço 1:4. Os resultados podem também ser analisados na Tabela do Apêndice F.

Nos corpos de provas de traço 1:3, verificou-se que, mesmo aos 7 dias de idade, a resistência à compressão já atingiu valores acima de 20 MPa, exceto para a dosagem com 7 % de lodo.

Nos corpos de provas com traço 1:4 curados aos 60 dias e com teores até 5 % de lodo têxtil e com 28 dias de cura e teores até 3 % de lodo têxtil conseguiram resistência acima de 20 MPa, que conforme Mehta e Monteiro (2008) e Hoppen et al., (2005) é considerado a resistência mais utilizada nas estruturas variando entre 20 e 40 MPa, classificada como resistência moderada.

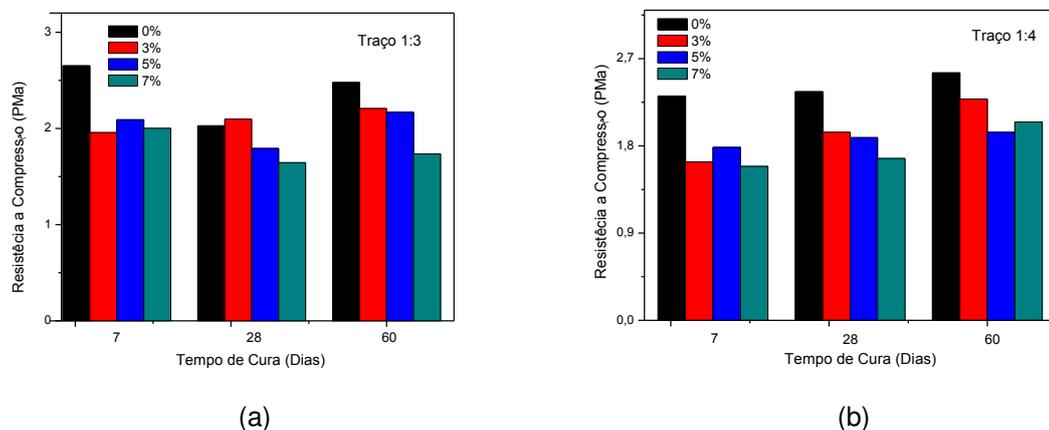
Os corpos de provas do traço 1:4 com teores de lodo têxtil de 7 % (7, 28 e 60 dias de cura), 5 % (7 e 28 dias de cura) e o 3 % (7 dias de cura) e o traço 1:3 com teor de lodo têxtil de 7 % e 7 dias apresentaram valores inferiores a 20 MPa, sendo qualificado conforme a Norma ABNT NBR 8953 (2011) e Mehta e Monteiro (2008) como concreto não estruturais, ou seja de baixa resistência, entretanto a resistência ainda está acima de 10 MPa, o que permite sua utilização como material de construção civil secundário, sem função estrutural de acordo com Pietrobon et al. (2002) e Hoppen et al. (2005), como por exemplo no uso para calçadas que normalmente são confeccionadas com resistência média a compressão de 10 MPa de acordo com os trabalho desenvolvidos por Costa (2011).

No Apêndice G verifica também a diminuição da resistência com o aumento do teor de lodo têxtil, nos gráficos de resistência à compressão de concreto com teores de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % de lodo têxtil dos traços 1:2, 1:3, 1:4 e 1:5, com cura 28 dias e que foram confeccionados em corpos de provas de argamassa 5 x 10 cm.

4.3.5 Resistência à Compressão Diametral

A Figura 4.11, apresenta os valores de tração por compressão diametral, obtidos nos traços 1:3 e 1:4, com os valores de lodo têxtil de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % curados com 7, 28 e 60 dias.

Figura 4.11 – Gráfico de resistência à compressão simples dos corpos de provas de concreto, com traço de 1:3(a) e 1:4 (b), curados em 7, 28 e 60 dias



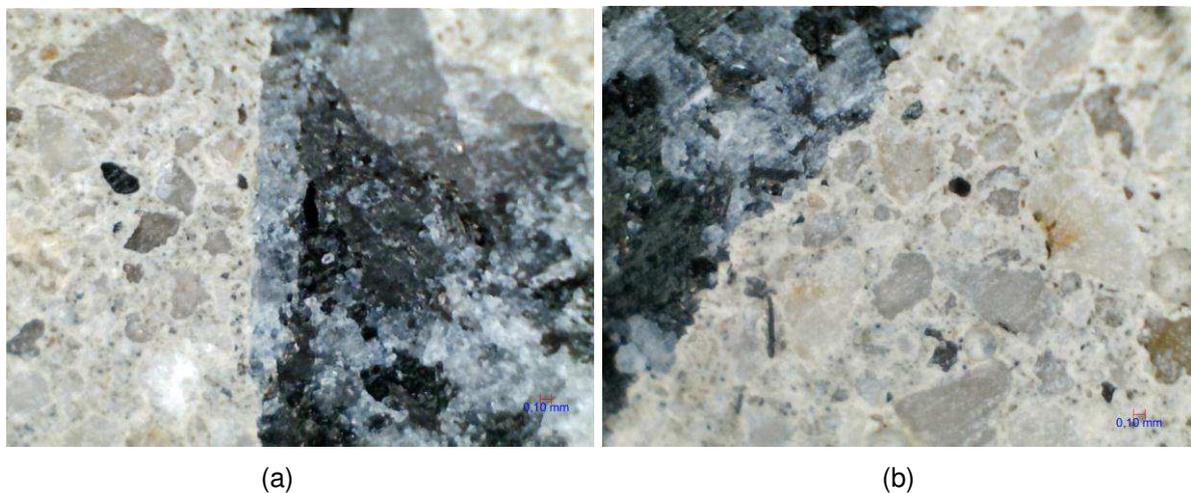
Fonte: Própria (2014).

De modo geral, foi possível perceber na Figura 4.11, uma diminuição da resistência a tração por compressão diametral com o aumento do teor de lodo textil, indica que a substituição da areia pelo lodo como agregado miúdo interfere sensivelmente na resistência, corroborando com os resultados de Costa (2011). Os resultados podem também ser analisados na Tabela do Apêndice H.

4.3.6 Microscopia Óptica

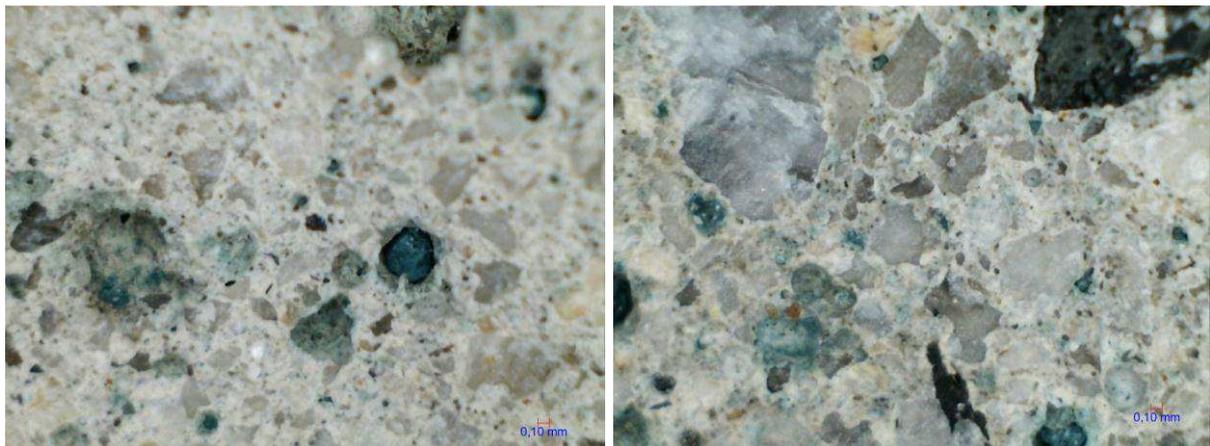
Nas Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 são apresentadas as microscopias ópticas com teores de lodo têxtil de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % para os traços de 1:3 e 1:4 com aumentos de 160X.

Figura 4.12 – Microscopia com 0 % de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b)



Pode-se verificar que na Figura 4.12 o traço 1:3 0 % e 1:4 0 %, respectivamente, a boa interação na interfase entre o concreto e seus agregados (areia e brita), formando uma estrutura com uma boa interação entre os constituintes da massa de concreto.

Figura 4.13 – Microscopia com 3 % de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b)

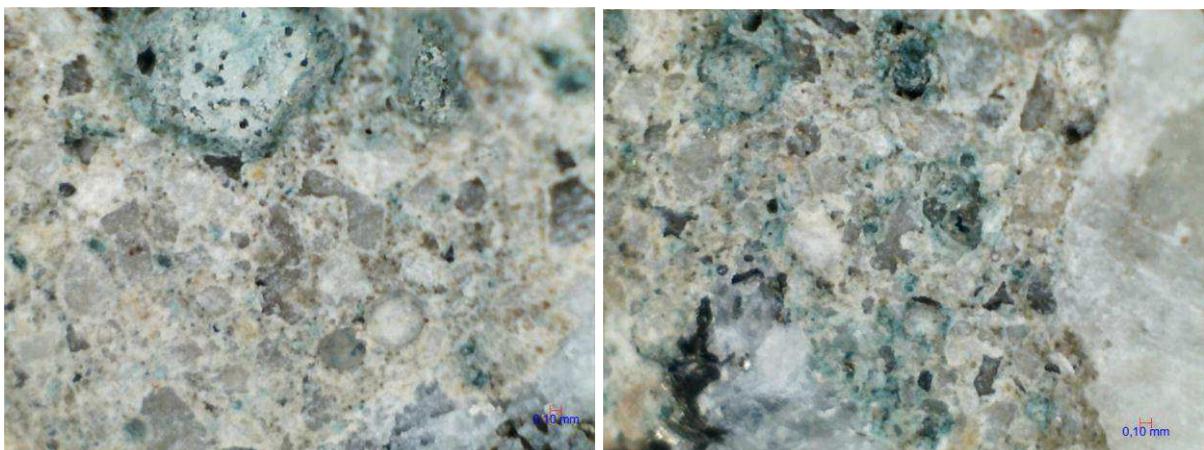


(a)

(b)

Na Figura 4.13 que correspondem ao traço T1:3 3 % e T1:4 3 %, respectivamente, podemos observar a presença do resíduo de lodo têxtil na estrutura, com coloração esverdeada e uma interfase franca entre a partícula de lodo e a pasta do concreto, se caracterizando como uma partícula indiferente à estrutura do concreto, o que faz com que diminua a resistência mecânica do concreto e foi observado o aparecimento de vazios.

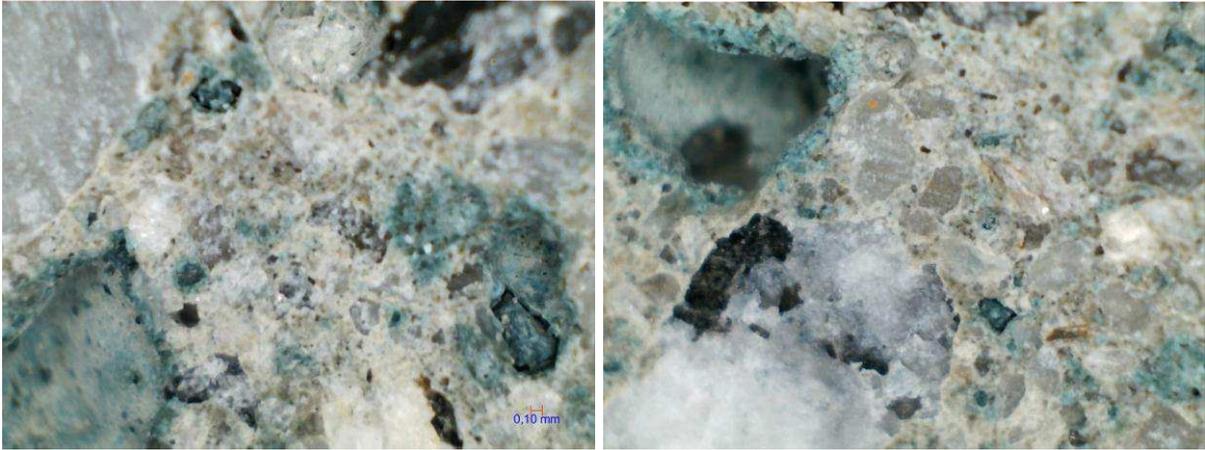
Figura 4.14 – Microscopia com 5 % de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b)



(a)

(b)

Figura 4.15 – Microscopia com 7 % de lodo e aumento 160X, traço 1:3 (a) e 1:4 (b)



(a)

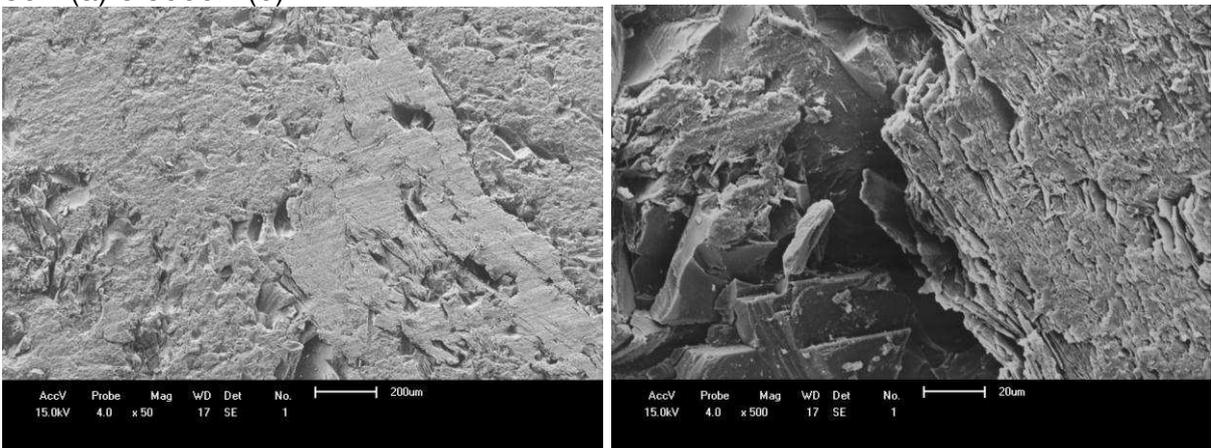
(b)

Já nas Figuras 4.14 e 4.15 que apresentação teor de lodo de 5 % e 7 %, respectivamente foi observada uma presença mais incisiva de lodo na microestrutura e mostrando a falta de interação entre lodo e a pasta do concreto, favorecendo a fragilização do concreto. Pode ser verificado também no Apêndice I, onde encontram micrografias de traço 1:3 e 1:4 com teores de lodo de 0 % e 5 % e aumento de 4 a 10 vezes.

4.3.7 Microscopia Eletrônica Varredura

Nas Figuras 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19 são apresentadas as microscopias eletrônica de varredura de corpos de provas de concreto com teores do lodo têxtil de 0%, 3 %, 5 % e 7 % para os traços de 1:3 e com aumentos de 50X e 500X.

Figura 4.16 – Micrografias do corpo de prova com teor de 0 % de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b)

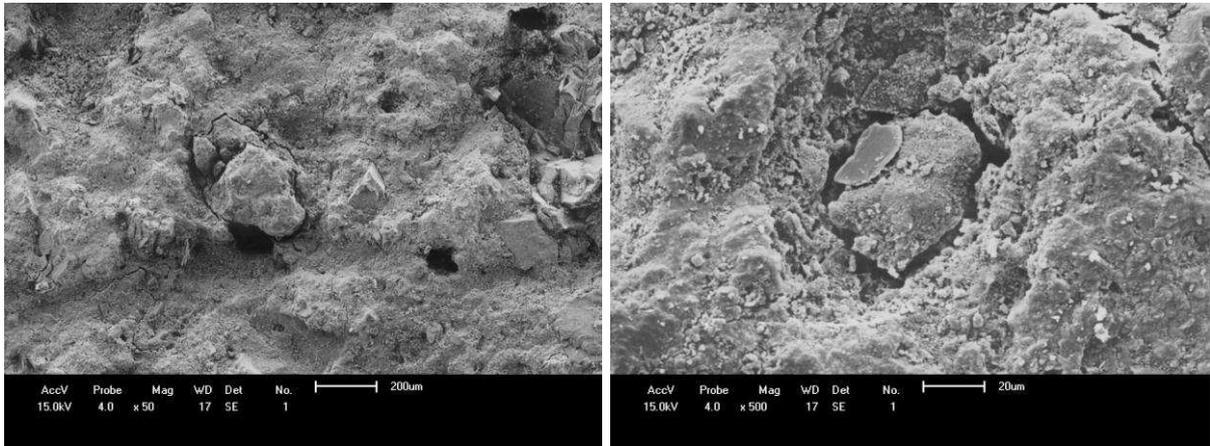


(a)

(b)

As Figuras 4.16 mostram alguns aspectos morfológicos dos corpos de prova de concreto com 0% de lodo têxtil onde se pode observar na Figura 4.16 (a) uma boa interação entre os agregados e a pasta do concreto e na Figura 4.16 (b) verifica uma estrutura lamelar que pode ser atribuída à brita.

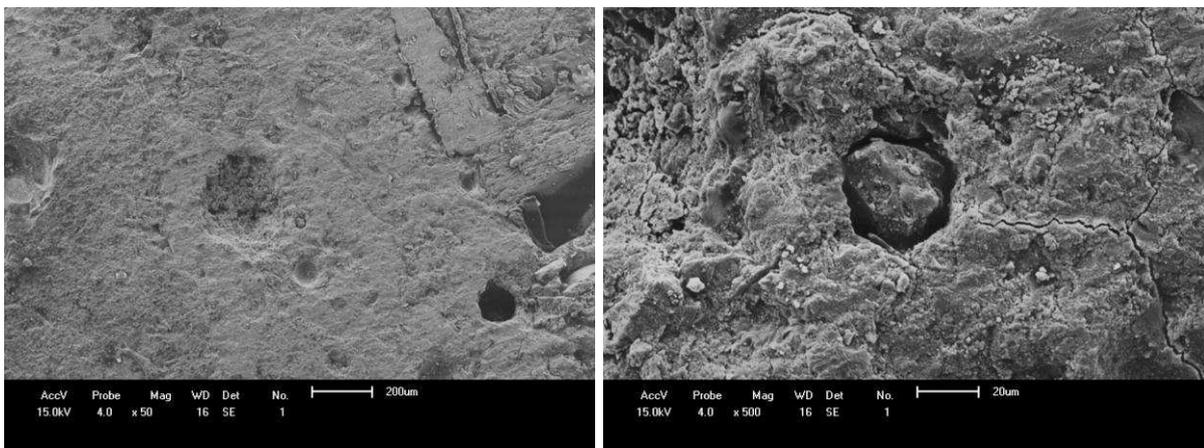
Figura 4.17 – Micrografias do corpo de prova com teor de 3 % de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b)



(a)

(b)

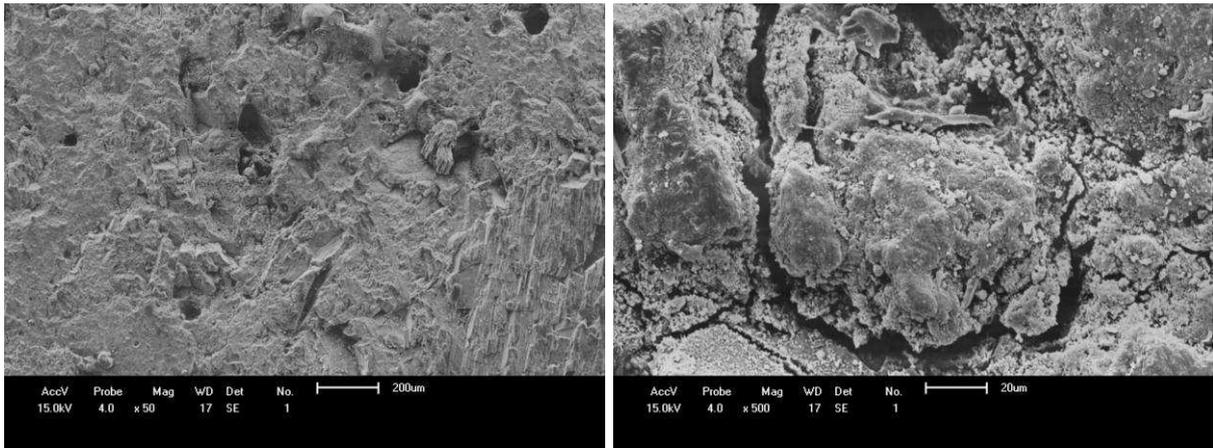
Figura 4.18 – Micrografias do corpo de prova com teor de 5 % de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b)



(a)

(b)

Figura 4.19 – Micrografias do corpo de prova com teor de 7 % de lodo e aumento 50X (a) e 5000X (b)



(a)

(b)

Nas Figuras 4.17, 4.18 e 4.19 podem ser visualizados os corpos de provas com teores de lodo de 3%, 5% e 7% de lodo, respectivamente. Pode-se observar o aumento de vazios e o surgimento de aglomerados dispersos, com formatos irregulares, sem estrutura, tamanhos variados que pode ser atribuído ao lodo têxtil.

Já interfase entre esses aglomerados e o pasta do concreto foi fraca, indicando que a presença do lodo têxtil, aumenta a fragilidade do concreto. O que corrobora com os resultados dos ensaios mecânicos de que há resistência do concreto diminuiu e aumentou o índice de vazios, quando foi adicionado lodo têxtil.

4.3.8 Classificação

Os corpos de provas, com traço 1:3 e percentual de lodo têxtil 0 %, 3 %, 5 % e 7 %, foram caracterizados ambientalmente por meio do ensaio de lixiviação e solubilização. A Tabela 4.5 apresentam os resultados do ensaio de lixiviação dos corpos de provas, conforme a norma os limites máximos permissíveis para avaliar o critério de imobilização dos contaminantes.

Tabela 4.5- Metais analisados nos corpos de provas, com o ensaio de lixiviação

Elementos	Lodo (mg/L)	0% (mg/L)	3% (mg/L)	5% (mg/L)	7% (mg/L)	Limite (mg/L)
Alumínio ²	<0,100	1,070	1,830	1,600	1,170	0,2
Bário ¹	0,800	0,830	1,870	2,070	<0,100	70,0
Cádmio ¹	0,011	0,011	0,013	0,012	0,011	0,5
Chumbo ¹	0,270	0,250	0,210	0,220	0,250	1,0
Cobre ³	0,460	0,033	0,015	0,120	0,130	2,0
Cromo ¹	0,040	0,100	0,051	0,040	0,052	5,0
Ferro ³	0,760	0,053	0,058	0,054	0,047	0,3
Manganês ²	0,170	0,019	0,020	0,022	0,015	0,1
Prata ¹	0,020	0,025	0,022	0,026	0,015	5,0
Zinco ³	0,056	0,016	0,019	0,019	0,017	5,0

¹ parâmetros e limites máximos no extrato lixiviado e solubilizado, conforme recomendação da NBR 10.005 (2004) e 10.006 (2004); ² valores baseados no Ministério da Saúde (MS), Portaria n. 2.914 de 2011; ³ valores sugeridos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CESTEB), Portaria n. 195 de 2005.

Os resultados obtidos pela análise do extrato lixiviado dos corpos de prova, encontram-se na Tabela 4.5. Os resultados mostram que as concentrações dos metais não estão de acordo com os limites máximos permitidos, pois o alumínio excedeu o limite máximo estabelecido de 0,2 mg/L em todos os corpos de prova, quando comparados com limites permitidos pela Portaria do Ministério da Saúde (Potabilidade da água), indicando características de periculosidade.

Com relação à Norma de resíduos sólidos da ABNT NBR 10004 (2004), os compósitos formados foram classificados como Resíduo Classe II - Não Perigosos, pois não ultrapassou os limites definidos pela norma.

Na Tabela 4.6 apresenta os resultados do ensaio de solubilização dos corpos de provas, conforme a norma de resíduos sólidos da ABNT NBR 10004, (2004).

Tabela 4.6- Metais analisados nos corpos de provas, com o ensaio de solubilização

Elementos	Lodo (mg/L)	0% (mg/L)	3% (mg/L)	5% (mg/L)	7% (mg/L)	Limite (mg/L)
Alumínio	0,110	0,620	0,540	0,350	0,820	0,200
Bário	0,350	0,300	0,350	<0,100	<0,100	0,700
Cádmio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005
Chumbo	0,220	0,140	<0,100	<0,100	<0,100	0,010
Cobre	3,840	<0,010	0,011	0,019	0,027	2,000
Cromo	0,055	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,050
Ferro	1,220	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	1,500
Manganês	0,110	<0,010	0,012	<0,010	<0,010	0,100
Prata	0,030	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,050
Zinco	0,350	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	5,000

Os resultados obtidos pela análise do extrato solubilização do Lodo Têxtil, encontram-se na Tabela 4.6. Podemos observar que, os metais liberados que ultrapassaram o limite permitido para o extrato de solubilizado, conforme a norma de Resíduos Sólidos da ABNT NBR 10004 (2004). Foram alumínio e o chumbo para todas as amostras analisadas. Sendo classificado como Resíduo Classe II – A (não perigosos e não inerte).

Conforme Kroth 2012, o alumínio é um dos componentes do cimento, dessa forma, as concentrações de alumínio aqui analisadas podem estar relacionadas ao comportamento deste elemento no pH deste ensaio. Neste teste, o pH do mesmo não é controlado, o que faz com que ele atinja um valor de pH=12. Nestas condições, o alumínio pode ser mobilizado, pois a sua solubilidade aumenta em pH alcalino.

Podemos observar que os corpos de provas com teores de lodo têxtil de 3 %, 5 %, e 7 % apresentaram pequenas variações em relação corpo de prova de referência. Mostrando que os metais do lodo encontram-se encapsulados e não apresentação riscos ao meio ambiente. Segundo Hoppen et. al (2006), mesmo dobrando a quantidade de lodo no concreto, o teor de metais pesados não aumenta proporcionalmente, ficando, em alguns casos, praticamente inalterados.

Para o uso de resíduos ou misturas de resíduos na fabricação de novos produtos ou para outra finalidade, este deve estar em conformidade com os requisitos por órgãos responsáveis pela liberação do produto, conforme a norma de resíduos sólidos ABNT NBR 10004 (2004).

CONCLUSÃO

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como intuito desenvolver e avaliar as propriedades físico-mecânicas de concretos utilizando lodo têxtil em substituição parcial ao agregado miúdo. As diretrizes seguidas foram fundamentadas no estudo da composição do concreto e para estabelecer os melhores parâmetros para os diversos percentuais de substituição, neste contexto, pode-se concluir que:

- O estudo da composição química do lodo têxtil apresentou-se compatível com os constituintes do concreto, entretanto observa-se um alto teor de matéria orgânica, que proporcionou um aumento no teor de absorção de água e prejudicou a resistência do concreto;
- O Lodo apresentou baixa estabilidade térmica e se decompôs em três etapas perfazendo um total de 46,2 % de perda de massa, atribuídos à perda de água e a matéria orgânica presente na amostra;
- No ensaio de lixiviação o lodo têxtil excedeu os limites máximos de metais estabelecidos pelo Ministério da Saúde e pelo CESTEB, classificando - o como Resíduo Perigoso. Já o ensaio de solubilização a quantidade de chumbo, cobre, cromo e manganês ultrapassaram o limite permitido;
- Os copos de provas apresentaram aumento da absorção de água quando aumentou a quantidade de lodo, mas todos os corpos de provas apresentaram valores inferiores de 10 % de absorção de água, podendo ser considerando de boa qualidade;
- Os resultados de resistência à compressão dos concretos estudados aumentaram com o aumento do tempo de cura e diminuiu quando aumentou o teor de lodo têxtil, mostrando que o resíduo diminui à resistência. Nos traços estudados com cura de 60 dias o concreto foi considerado moderado, apenas o traço 1:4 com 7 % de lodo foi classificado como concreto não estrutural.
- Na microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura verificou que o lodo têxtil não apresentou boa interação com os constituintes do concreto e que aumentou os vazios nos corpos de provas de concreto;
- O ensaio de lixiviação dos corpos de prova mostrou que o alumínio excedeu o limite estabelecido pelo ministério da saúde, entretanto de acordo com a norma da ABNT de Resíduos Sólidos não ultrapassaram o limite permitido, classificando como

resíduo de classe II – não perigosos. Já os metais liberados no ensaio de solubilização ultrapassaram o limite permitido em todos os corpos de provas, classificando-o como Resíduo Classe II – A não perigosos e não inerte. Entretanto, os corpos de provas com teores de lodo apresentação pequenas variações em relação ao corpo de prova de referência, mostrando que os metais do lodo encontram-se encapsulados e não apresenta riscos ao meio ambiente;

- Pode-se concluir então que a utilização do lodo têxtil em concretos é uma alternativa viável com teores de até 7 % de substituição e que os metais pesados presentes neste resíduo encontram devidamente encapsulados no concreto, não apresentando riscos ao meio ambiente;
- Dentre os concretos estudados, o traço de 1:3 tiveram os melhores resultados, com teores de até 7 % de substituição e foram classificados com concretos moderados, entretanto os valores de resistência dos demais corpos de provas estão acima de 10 MPa, o que classificam como não estrutural e permite sua utilização em calçadas.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ABCP. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002.

ABNT. **NBR 5738**: Moldagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos e Prismáticos. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro. 1994.

ABNT. **NBR 6136**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro. 2007.

ABNT. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova. Rio de Janeiro. 2011.

ABNT. **NBR 8953**: Concretos para Fins Estruturais – Classificação pela Massa Específica, por Grupos de Resistência e Consistência. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT. **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos — DETERMINAÇÃO da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 10.005**: Resíduos Sólidos – Ensaio de Lixiviação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 10.006**: Resíduos Sólidos – Ensaio de Solubilização. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 10.007**: Resíduos Sólidos – Amostragem. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 12041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos — Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. **NBR 12118**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria - Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT. **NBR 12655**: Concretos de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. **NBR 14931**: Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. ABNT, Rio de Janeiro. 2006.

ABNT. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco do Cone. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. **NBR NM 68**: Concreto – Determinação da Consistência pelo Espalhamento da Mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998.

ANDRADE, W. P. de, **Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo: Ensaio e Propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

ANTONIOLLI, Z.I. et al. Método alternativo para Estudar a Fauna do Solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.4, p.407-417, 2006.

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**, UNESP-Universidade Estadual Paulista, 2002 ilha solteira (apostila).

ANVAR, D.; PREDOSO, T.; BRITO, T. **Cura do Concreto**. Salvador, p.14-15, 2005.

AQUINO, J. L. S., **Desenvolvimento de Compósitos de Matriz Cimentícia Utilizando Resíduos de Politereftalato de Etileno (PET) e de Areia de Britagem na Produção de Concreto**, 2013. Tese de Doutorado (Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ARAÚJO, P. G. M., SELLIN, N. Análises Térmicas e de Sólidos como Ferramenta para Caracterização e Identificação do Potencial Energético de Lodos de Estações de Tratamento de Efluentes, **Anais XVI Encontro de Química da Região Sul – 16 SBQSUL**. Blumenau, 2008.

ARRUDA, S. M., NEGRI, R., GEMELLI, E., CAMRAGO, N. H. A.. **Influência da Adição de Resíduos Industriais de Tinturarias Têxteis na Composição de Clínquer de Cimento Portland.**, in 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007.

BARBOSA Jr. A. S.; **Estudo da Utilização de Agregado Reciclado em Misturas de Concreto de Cimento Portland para Pavimentação**, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARROS, C., **Introdução aos Materiais de Construção**. Disponível em: <http://edificacoes.files.wordpress.com/2010/04/apo-rev-evolucao-dos-materiais.pdf>
Acesso em 21 abr 2011.

BAUER, L. A. F., **A CURA DO CONCRETO: Métodos e Materiais**. Boletim nº 32, São Paulo, 1991, 33 p.

BAUER, L. A. F., **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 471p.

BRASIL (2010) Lei nº 12305 de 02 de Agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em <http://www.leidireto.com.br/lei12305.html/>.

BORTOTI, A. A., ROSA, M. F., **Processos Oxidativos Avançados Aplicados A Efluentes de Indústrias Têxteis**. Disponível em: <http://cac-php.unioeste.br/eventos/senama/anais>, acesso em 12 de maio de 2012.

BRINGHENTI, J., **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Aspectos Operacionais e da Participação da População**, 2004. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo.

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**. 3ª edição. São Paulo: Humanistas Editora /FFLCH-USP, 1999.

CASTRO, T. M., **Solidificação/Estabilização de Lodo Gerado no Tratamento de Efluente de Lavanderia Industrial Têxtil em Blocos Cerâmicos Acústicos e seu Desempenho em Câmara Reverberante**, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

COELHO R. T.; **Contribuição ao Estudo da Aplicação de Materiais Alternativos nos Compósitos à Base de Cimento Portland: Uso de Grãos de Polipropileno Reciclado em Substituição aos Agregados do Concreto**, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COSTA, A. ; APPLETON, J., **Estruturas de Betão I: Parte II Materiais**. Instituto Superior Técnico, 2002, p.2. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/bape1/materiais.pdf>>. Acesso em: 20 maio. 2012.

COSTA A. J. C.; **Análise de Viabilidade da Utilização de Lodo de ETA Coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) Composto com Areia como Agregado Miúdo em Concreto para Recomposição de Calçadas – Estudo de Caso na ETA do Município de Mirassol-SP**, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

DANTAS, F. P., **Contribuição ao Estudo para Aplicação do Pó de Serra da Madeira em Elementos de Alvenaria de Concreto Não Estrutural**, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DE LARRARD, F. **Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach, Modern Concrete Technology Series**. Vol. 9, Ed. E&FN SPON, London, 1992.

DONAIRE, D., **Gestão Ambiental na Empresa**. Ed. 2, São Paulo: Atlas, 1999.

FEC – UNICAMP, **Lodo de Estação de Tratamento de Água**. 2013, Disponível: <http://www.fec.unicamp.br>.

GUEDES, b. F. R., **Desenvolvimento de Argamassa com Incorporação de Lodo de Indústria Têxtil Visando a Aplicação Sustentável na Construção Civil**, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GIAMMUSSO, S. E., **Manual do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.162p.

HELENE, P. R.L.;TERZIAN, P., **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1993. 349p.

HELENE, P.; ANDRADE, T., **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 2v. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p.

HEREK L. C. S.; BERGAMASCO R.; Célia R. G. TAVARES C. R. G.; UEMURA V. O.; PANCOTTE L. P. Estudo da Solidificação/Estabilização do Lodo da Indústria Têxtil em Material Cerâmico. **Revista Cerâmica Industrial**. v.10, n.4, p. 41-46, 2005.

HEREK, L. C. S.; SILVA Jr, A. T.; PAVEZZI, C. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. **“Incorporação de Lodo de Lavanderia Industrial na Fabricação de Tijolos Cerâmicos”**. Cerâmica Industrial, 2009.

HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., ANDREOLI, C.V., SALES, A., JOUKOSKI, A. Estudo de Dosagem para Incorporação de Lodo de ETA em Matriz de Concreto

como Forma de Disposição Final. **Anais do 23^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande, 2005.

HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., JOUKOSKI, A., TRINDADE, E. M., ANDREÓLI, C. V., Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água Centrifugado em Matriz de Concreto de Cimento Portland para Reduzir o Impacto Ambiental. **Revista Química Nova**, v. 29, n.1, p.79-84, 2006.

ISERHARD, J. L. R. F., **Contribuição ao Estudo da Viabilidade de Cura do Concreto por Energia Solar**. 2000, 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ISAIA, G. C., **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. V. 01, São Paulo: IBRACON, 2005, 792 p.

JACOMINO, V. M. F. et al. Controle Ambiental das Indústrias de Ferro-Gussa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal. **Projeto Minas Ambiente**, Belo Horizonte, p. 181-197, 2002.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEITE, M.B., **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados de Resíduos de Construção e Demolição**, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEVY, S. M. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos, Produzidos com Resíduos de Concreto e Alvenaria**, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUCAS D.; BENATTI C. T. Utilização de Resíduos Industriais para a Produção de Artefatos Cimentícios e Argilosos Empregados na Construção Civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.3, p. 405-418, 2008.

KROTH, L. A., **Análise Mecânica e Química de Placas Pré-Moldadas de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneus**. 2012, 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KUNZ, A., ZAMORA, P. P., MORAES, S. G., DURÁN,N., Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Revista Química Nova**, v.25, n.1, p.78-82, 2002

MARTINS, F. M., **Caracterização Química e Mineralógica de Resíduos Sólidos Industriais Mineraiis do Estado do Paraná**. 2006, 104p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estruturas, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEIRA, L. R., **Propriedades Mecânicas e Retração do Concreto com Adição de Cinza de Casca de Arroz Natural, sem Beneficiamento de Moagem**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

MOREIRA A. H.; OLIVEIRA R. M.; LIMA P. D. S., Effect of the Addition of Sludge From Textile Factory in the Properties of Construction Materials. **Cerâmica**, v 47, n 303, p 158-162, 2001.

NAKAMOTO, K., **Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds**. 3 Ed. New York : John Wiley & Sons, 1970.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo, 1997. 828p.

NICOLA, A., **Blocos de Concreto**. 2010, Disponível em <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Blocos-De-Concreto>.

NUVOLARI, A., **Inertização de Lodo de Esgoto em Tijolos Cerâmicos Maciços: Aspectos Tecnológicos e Ambientais**, 2002, 223p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

O'REILLY D., V., **Metodo de Dosagem de Concreto de Elevado Desempenho**. 1º edição Pini, Sao Paulo, 1998.

OLIVEIRA, D. F.; NEVES, G. A., Aproveitamento do Rejeito de Borracha para Uso em Argamassas de Alvenaria. **Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Florianópolis, 1999, p. 323001-323010.

Oliveira, M. P.; Barbosa, N. P. Potencialidades de um Caulim Calcinado como Material de Substituição Parcial do Cimento Portland em Argamassas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.490-496, 2006.

PEREIRA, J. A. R., **Geração de Resíduos Industriais e Controle Ambiental**. Disponível em: www.desenvolvimento.gov.br, acesso em 05 de julho de 2010.

PEREIRA, R. L., **Resíduos Sólidos Industriais: Uma Fonte Alternativa na Elaboração de Materiais Cerâmicos de Baixa Densidade**, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.

PETRUCCI, E. G. R., **Materiais de Construção** 2.ed. Porto Alegre : Globo, 1976, 435p.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14ª ed., revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo: Editora Globo, 2005, 307 p.

PINHEIRO, L. M., **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007.

PINHEIRO, R. M., **Reciclagem de Lodo Primário da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Papel em Cerâmica Vermelha**. 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

PÔRTO, L. C. S., **Tratamento de Efluente Têxtil pelo Sistema de Lodos Ativado em Batelada com Adição de Carvão Ativado em Pó**, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PIETROBON, G. L. R., BITENCOURT, M. P., GIMENES, M. L., BERGAMASCO, R., COLANZI, J., PIETROBON, C. E., Estudos preliminares sobre estabilização/solidificação - e/s - de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para reutilização como argamassa de construção: exame de caso para Maringá, Estado do Paraná. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá. v. 24, n. 6, p. 1659-1664, 2002.

PRIM, E. C. C., **Reaproveitamento de Lodo Têxtil e da Cinza Pesada na Construção Civil: Aspectos Tecnológicos e Ambientais**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAMOS F. M. S.; KAMINATA O. T.; TAVARES C. R. G.; BENATTI C. T.; CAPELLASSO M.; INNOCENTI B. D. Avaliação da Técnica de Solidificação/Estabilização no Tratamento de Resíduo Têxtil - Produção de Bloco Cerâmico de Vedação. **Revista Cerâmica**. São Paulo, v. 55, p. 408-414, 2009.

ROLIM A. M. A.; **Reciclagem de Resíduos de EVA da Indústria Calçadista**. Porto Alegre: UFRGS, 10p. Disponível em:<http://globalsus.net/acervo/art/gr_art_03.pdf>. Acesso em: 18 dezembro de 2010.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T., **Materiais de Construção Civil**. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102p.

SAMPAIO, Z. L. M., **Análise do Comportamento Mecânico de Concretos Produzidos com Incorporação de Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar de Variedades SP911049, RB92579 E SP816949**, 2013. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SANTANA, L. L.; COSTA, F. N., **Análise da Resistência à Compressão de Concretos com Cura Úmida e sem Cura**. Disponível em: http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0033.pdf. Acesso em 15 julho de 2010.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**, vol 1. Editora Edgard Büchler, 1980, pp 245- 273

SILVA, A. V. R.; DINIZ, H. A. A.; RIBEIRO, J. A. E.; OLIVEIRA, S. S.; GOMES, V. L. L., **Influência do Processo de Cura em Concreto Convencional em Seis Idades. Anais VII Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação**, Palmas, 2012.

SOUZA, G. N. *et al.* **Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-Açúcar. Anais 49^o Congresso Brasileiro do Concreto**, Bento Gonçalves, 2007.

VERÇOZA, E. J., **Materiais de Construção**. Porto Alegre: Puc - Editora Sagra 1987. 153 p.

TALLINI, V. M. J., **Desenvolvimento de Novos Materiais Cerâmicos a Partir de Lodo de Estações de Tratamento de Água, Micro Esferas de Vidro de Jateamento, Sais de Neutralização de Ácidos de Baterias e Areia de Fundição**, 2009. Dissertação (Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Tartari, R.; Díaz-Mora, N.; Módenes, A. N.; Pianaro, S. A., Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como Aditivo em Argilas para Cerâmica Vermelha. Parte I: Caracterização do Lodo e de Argilas do Terceiro Planalto Paranaense. **Revista Cerâmica**. São Paulo, v. 57, p. 288-293, 2011.

TENÓRIO, J. J. L., **Avaliação de Propriedades do Concreto Produzido com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição Visando Aplicações Estruturais**, 2007. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

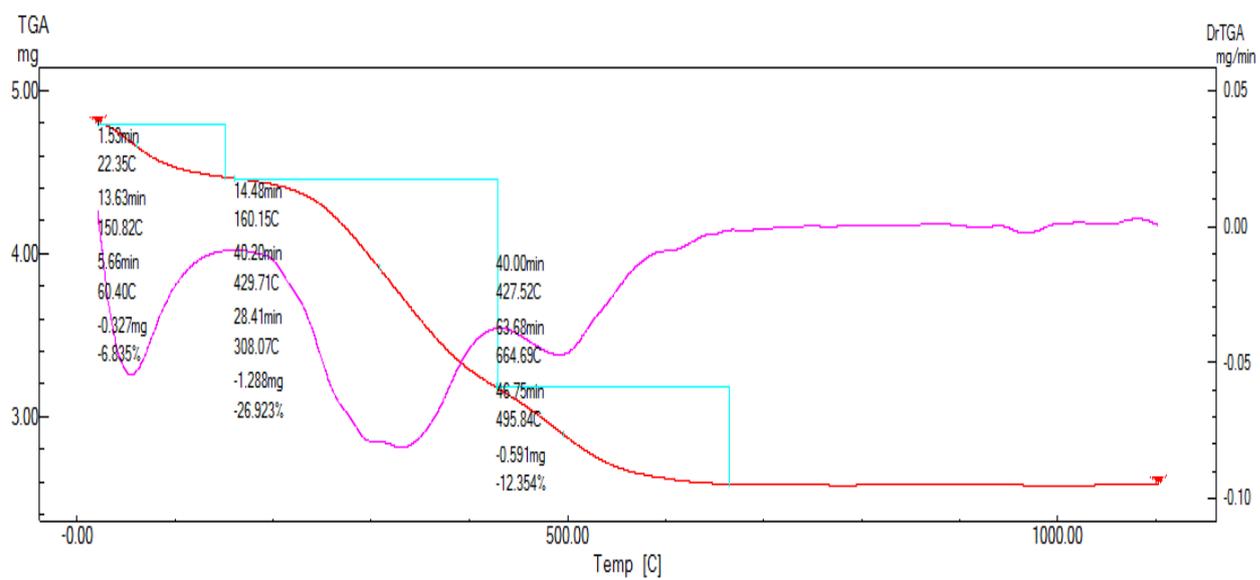
VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C., Avaliação da Resistência à Compressão, Resistência à Tração e Formação de Microfissuras em Concretos Produzidos com Diferentes Tipos de Cimentos, quando Aplicado um Pré-Carregamento de Compressão. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 25-40, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Principais bandas de absorção na região do infravermelho de lodo seco à 110°C em 400 e 4000 cm⁻¹

Atribuições	110 °C
Si-O-Al	798 (m)
Si-O	1080 (F)
OH	1640 (f)
CH / CC	2920 (f)
OH	3350 (f)

APÊNDICE B – Curvas TG/DTG do Lodo têxtil



APÊNDICE C – Absorção de água dos corpos de prova de concreto, curados em 7, 28 e 60 dias

Traço	Dias de cura	Lodo Têxtil			
		0 %	3 %	5 %	7 %
1:3	7	7,67	8,03	8,56	8,68
	28	7,60	7,67	8,80	8,54
	60	6,54	7,70	8,04	8,82
1:4	7	7,40	7,98	8,12	8,98
	28	7,18	8,21	7,90	8,49
	60	7,25	8,12	8,21	9,04

APÊNDICE D – Índice de vazios dos traços 1:3 e 1:4 com teores de substituição de 0, 3, 5 e 7 % de lodo e cura de 7, 28 e 60 dias

Traço	Dias de cura	Lodo Têxtil			
		0 %	3 %	5 %	7 %
1:3	7	12,81	21,61	25,34	30,88
	28	19,85	22,44	25,20	27,65
	60	19,28	20,15	24,06	28,74
1:4	7	12,68	18,17	19,62	24,29
	28	13,33	13,54	15,48	17,37
	60	11,45	12,36	13,18	16,69

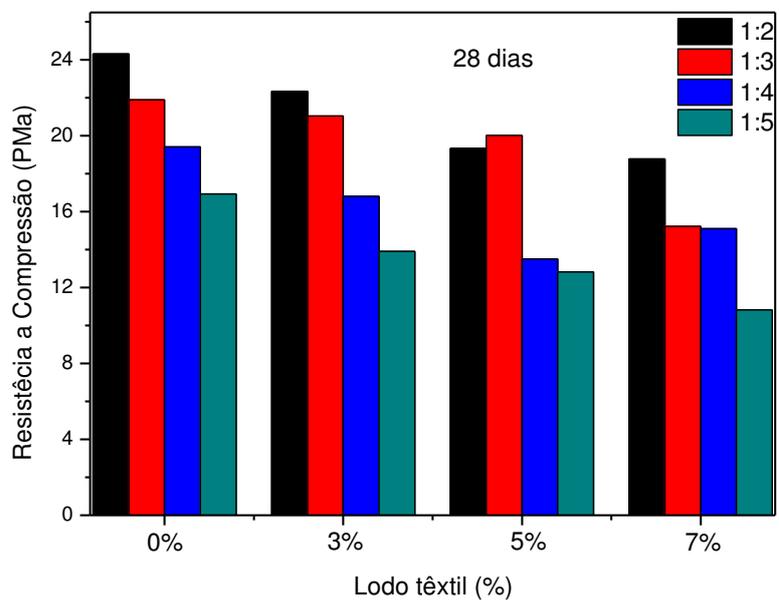
APÊNDICE E – Massa específica real dos traços 1:3 e 1:4 com teores de substituição de 0, 3, 5 e 7 % de lodo e cura de 7, 28 e 60 dias

Traço	Dias de cura	Lodo têxtil			
		0 %	3 %	5 %	7 %
1:3	7	1,21	1,20	1,13	1,12
	28	1,28	1,25	1,23	1,13
	60	1,27	1,24	1,19	1,10
1:4	7	1,25	1,19	1,17	1,07
	28	1,31	1,19	1,16	1,11
	60	1,30	1,15	1,13	1,04

APÊNDICE F – Resultados de resistência à compressão simples (MPa) dos corpos de provas de concreto, curados por 7, 28 e 60 dias

Traço	Dias de cura	Lodo Têxtil			
		0 %	3 %	5 %	7 %
1:3	7	28,37	21,78	21,16	19,35
	28	29,37	25,06	23,35	20,46
	60	39,99	36,73	31,32	27,56
1:4	7	22,15	15,65	13,26	13,53
	28	25,60	20,14	19,70	17,03
	60	33,55	23,31	20,28	18,94

APÊNDICE G – Gráficos de resistência à compressão de concreto com teores de 0 %, 3 %, 5 % e 7 % de lodo têxtil dos traços 1:2, 1:3, 1:4 e 1:5, com cura 28 dias e que foram confeccionados em corpos de provas de argamassa 5 x 10 cm.

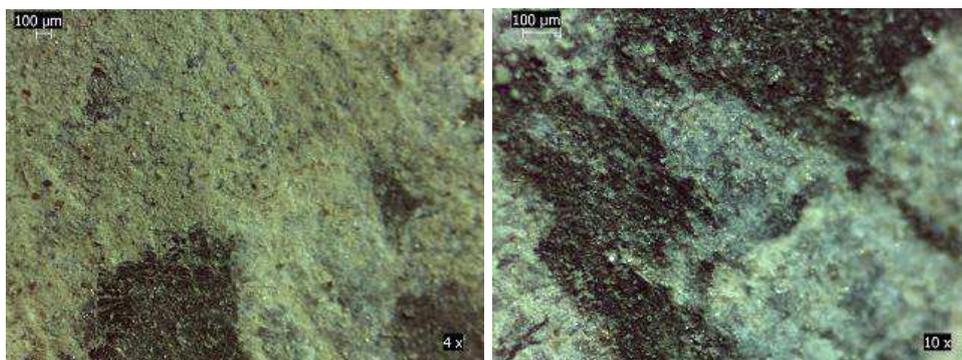


APÊNDICE H - Resultados de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova curados por 7, 28 e 60 dias

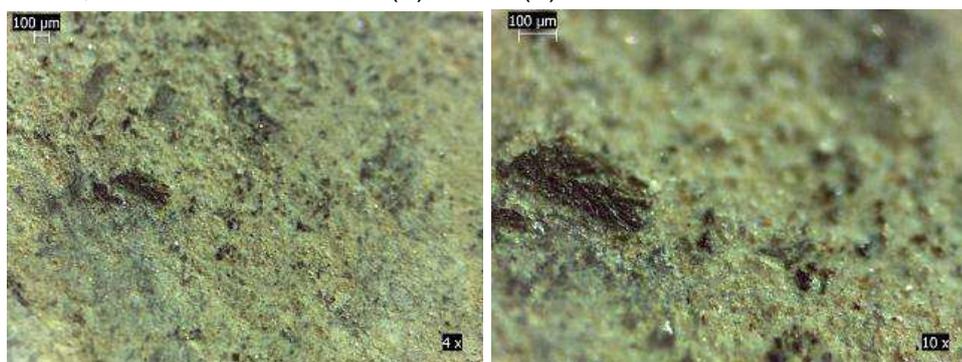
Traço	Dias de cura	Lodo Têxtil			
		0 %	3 %	5 %	7 %
1:3	7	2,65	1,96	2,09	2,00
	28	2,03	2,10	1,79	1,64
	60	2,48	2,21	2,17	1,74
1:4	7	2,31	2,31	1,79	1,59
	28	2,36	1,94	1,88	1,67
	60	2,55	2,28	1,94	2,05

APÊNDICE I – Microscopia óptica dos corpos de provas, de traço 1:3 e 1:4.

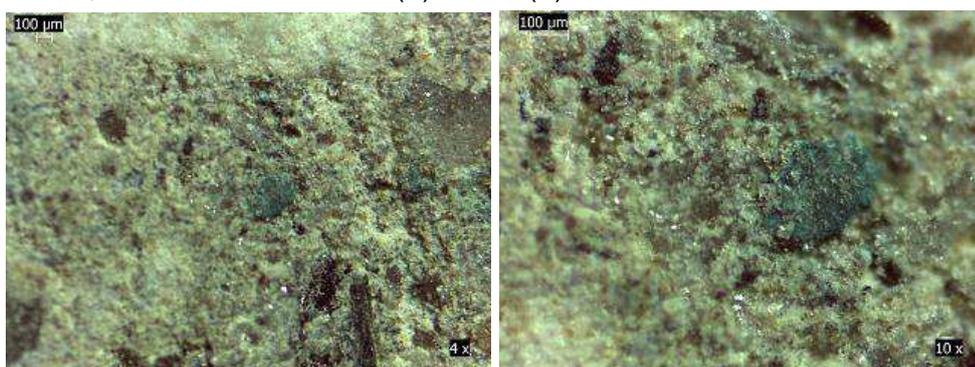
Traço 1:3 0 %, com aumento de 4X(a) e 10X(b)



Traço 1:4 0 %, com aumento de 4X(a) e 10X(b)



Traço 1:3 5 %, com aumento de 4X(a) e 10X(b)



Traço 1:4 5 %, com aumento de 4X(a) e 10X(b)

