



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

YURI DE ANDRADE ARAÚJO

**VERIFICAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO DE NAGALLI PARA
ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DE
ALVENARIA ESTRUTURAL.**

**CAMPINA GRANDE
2016**

YURI DE ANDRADE ARAÚJO

VERIFICAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO DE NAGALLI PARA ESTIMATIVA
DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DE ALVENARIA
ESTRUTURAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. William de Paiva.

CAMPINA GRANDE
2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A659v Araújo, Yuri de Andrade.

Verificação da aplicação do modelo de Nagalli para estimativa dos resíduos da construção civil em uma obra de alvenaria estrutural [manuscrito] / Yuri de Andrade Araújo. - 2016.

46 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Modelo de Nagalli. 2. Resíduos sólidos. 3. Resíduos de construção civil. 4. Geração de resíduos. I. Título.

21. ed. CDD 363.728 5

YURI DE ANDRADE ARAÚJO

**VERIFICAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO DE NAGALLI PARA
ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DE
ALVENARIA ESTRUTURAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Graduado em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Área de concentração: Engenharia Sanitária
e Ambiental.

Aprovada em: 23/05/2016.

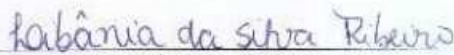
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. William de Paiva (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Msc. Libânia da Silva Ribeiro
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Aos meus pais, pela dedicação, companheirismo e amizade,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades recebidas durante todos esses anos de graduação, por toda força nos momentos adversos e pelo dom da vida.

A minha família, em especial aos meus pais, Maria José e Robério que são pessoas extraordinárias e que são verdadeiros exemplos de perseverança, serenidade e honestidade. A minha sobrinha, Nicole que mesmo tão jovem me ensinou a enxergar a vida de uma maneira diferente.

A minha namorada e companheira, Larissa Raquel por toda assistência e paciência nessa trajetória. Você compartilhou comigo todas os momentos difíceis e todas as conquistas.

Ao professor William Paiva, por toda ajuda, pelas oportunidades concedidas e pela parceria criada ao longo dos anos. Você sem dúvidas é um grande exemplo de ética profissional.

Ao meu grande amigo de graduação e iniciação científica, Cláudio por toda ajuda durante minha graduação.

Ao amigo e professor Cícero por toda ajuda e contribuição para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos Pedro Felipe, MathuesDuarte e YagoRocha por toda confiança, paciência nos momentos de ausência e por todos os momentos de descontração.

Aos meus amigos e companheiros de graduação em especial, Danyllo, Thiago, Rennan, Rafael e Mariah pela ajuda durante nossa jornada na graduação. Nossas sabatinas sempre serão lembradas com muitas saudades.

Aos companheiros de estágio em especial, Adão Barbosa, Eduardo Camilo, Igor Kurimori e José Vaz pela amizade, ensinamentos e por fazerem de mim um profissional melhor.

A Camilla Rocha, Sâmara Trajano e Tatiane Anny, que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de certa forma colaboraram ou acompanharam-me nessa jornada, o meu muito obrigado!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

(Charles Chaplin)

RESUMO

No Brasil, a construção civil, na forma que é conduzida, é uma grande geradora de resíduos, pois os processos construtivos empregados corroboram para que ocorra desperdício na execução da obra, uma vez que, os processos são de conversão e não de montagem. A destinação final dos resíduos também é um grande problema, por que os bota-foras ilegais ainda são o destino dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em muitos municípios do Brasil. A solução efetiva para a geração de resíduos, considerando-se ainda as especificidades regionais, são ações integradas dos governos municipal, estadual e federal com a iniciativa privada. A quantificação dos RCC é uma etapa fundamental no gerenciamento, pois é o momento onde toda a logística de resíduos da obra é estabelecida. A presente pesquisa propõe compreender o comportamento dos RCC para ajustar o modelo de André Nagalli aos dados obtidos em uma determinada empresa de construção civil. Assim, além de estimar a geração de resíduos da construção civil com maior exatidão, objetiva-se também uma comparação com índices observados por pesquisadores em obras no Brasil e no exterior. A forma de ajuste utilizada para o modelo foi à regressão não linear, pois é mais apropriado, uma vez que, a geração de resíduos geralmente não é linear. O método de Nagalli considera a experiência e/ou treinamento da equipe, processo construtivo utilizado na obra, nível de controle da obra e a flexibilização temporal para execução das atividades. Foram estimados dois dos quatro coeficientes indicados pelo autor, são eles: experiência da equipe e nível de controle da obra. Os resultados de ajuste mostraram-se satisfatórios, apresentando um modelo preditivo e significativo, além de apresentar um erro, diferença do valor real e estimado pelo modelo, praticamente nulo.

Palavras-Chave: Resíduos de Construção Civil. Quantificação dos RCC. Método de Nagalli.

ABSTRACT

In Brazil, the construction, the way it is conducted, it is a major generator of solid waste, because the construction processes used to corroborate that loss occurs in the execution of the construction work, once the processes are conversion and no mounting. The disposal of waste is also a major problem, so that the illegal wastelands are still the target of civil construction waste (CCW) in many municipalities in Brazil. The effective solution for the generation of waste, even considering the regional specificities, are integrated actions of local, state and federal governments joined the private sector. Quantifying the CCW is a key step in the management; it is the time where all the logistics of waste of construction work is established. This research aims to understand the behavior of the CCW to adjust the model André Nagalli the data in a particular construction company. Therefore, in addition to estimate the generation of construction waste more precisely, the objective is also a comparison with rates observed by researchers in projects in Brazil and abroad. The shape adjustment model was used for the non-linear regression, it is most appropriate, since the generation of waste is generally not linear. Nagalli method considers the experience and/or staff training, constructive process used in the construction work, level of construction work control and temporal flexibility for implementation of activities. This survey estimated two of the four coefficients indicated by the author, are these: experience of the team and the construction work level of control. The adjustment results were satisfactory, presenting a predictive and significant model in addition to exhibit an error, actual value of the difference estimated by the model, virtually nil.

Keywords: Civil Construction Waste. Quantification of CCW. Nagalli method.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de RCC por semana.....38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos RCC de acordo com a Resolução nº 307/2002.....	18
Quadro 2 - Responsabilidades na gestão de RCC.	20
Quadro 3 - Fator Ke, nível de experiência da equipe	27
Quadro 4 - Fator Kp, tipo de processo construtivo	28
Quadro 5 - Fator Kf, que diz respeito à frequência de fiscalização e auditoria da obra.....	28
Quadro 6 - Fator Kc, influência do cronograma da obra sobre a geração de resíduos.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da localização estadual, regional e nacional da cidade de Natal.....	32
Figura 2 - Obra Monitorada	33
Figura 3 - Código de cores para os diferentes tipos de resíduos.....	34
Figura 4 - Baía de resíduo, classe A e agregado reciclado.....	35
Figura 5 - Baía de resíduos, classe B, C e D.....	35
Figura 6- Piso permeável utilizando agregado reciclado.....	36
Figura 7 - Bloco de alvenaria estrutural	38
Figura 8 - Geração de RCC Classe A por Semana.....	40
Figura 9 - Ajuste dos Valores Experimentais ao Modelo.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
SIABI	Sistema Integrado de Automação de Bibliotecas
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
RCC	Resíduos da Construção Civil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	16
2.1.1	Resíduos da Construção Civil	17
2.2	LEGISLAÇÕES E NORMATIZAÇÕES	20
2.2.1	Arcabouço Legislativo	20
2.2.2	Resoluções CONAMA	21
2.2.3	Normas ABNT	22
2.3	MODELOS MATEMÁTICOS	23
2.3.1	Modelos não lineares	23
2.3.2	Coefficiente de determinação	24
2.3.3	Soma dos quadrados dos resíduos	24
2.3.4	Estimativa de RCC	25
2.3.4.1	Método de Li et al.	25
2.3.4.2	Método de Nagalli	26
3	METODOLOGIA	30
3.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA	30
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA OBRA	32
3.3	INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS	36
3.4	MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RESÍDUOS	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	GERAÇÃO DE RESÍDUO CLASSE A	38
4.2	COMPARATIVO DA GERAÇÃO DE RCC DA OBRA ESTUDADA COM INDICADORES NACIONAIS E INTERNACIONAIS	39
4.3	AJUSTE DO MODELO	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a construção civil brasileira vem aumentando sua participação na economia nacional, porém o PIB da construção registrou queda de 8% em 2015. Este cenário é reflexo da redução forçada no ritmo das obras em execução e da impossibilidade do início de novas obras. O setor é responsável por mais de 50% do fluxo de investimentos do país (CBIC, 2016).

A construção civil, na forma que é conduzida, no Brasil é uma grande geradora de resíduos e a busca constante por novas tecnologias induz a exploração e transformação dos recursos naturais, ou seja, a geração de resíduos sólidos aumenta, este fator agrava a questão ambiental e sanitária do meio, uma vez que além da preocupação com a saúde e o bem estar da população, é fundamental pensar, também, no desenvolvimento sustentável (ARAÚJO, 2011).

Observa-se que, ao longo da história, algumas iniciativas pontuais que tratavam de resíduos foram desenvolvidas como, por exemplo, escombros das construções europeias destruídas durante a segunda guerra mundial, utilizados como agregados na produção de concreto e asfalto (NAGALLI, 2014).

Segundo Novaes e Mourão (2008), no Brasil, os processos construtivos empregados corroboram para que ocorra desperdício na execução da obra, uma vez que, os processos são de conversão e não de montagem. Além de potencialmente poluidores os Resíduos da Construção Civil (RCC) ocasionam problemas logísticos e prejuízos financeiros.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), estima-se que, em 2014, os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCC, o que representa cerca de 57% de todo o resíduo sólido urbano (RSU) coletado naquele ano e um aumento de 4,1% em relação a 2013. Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial quanto ao destino final dado aos RCC, visto que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que os municípios, via de regra, coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos.

Os botas-foras ilegais ainda são o destino dos resíduos da construção civil em muitos municípios do Brasil, a disposição inadequada destes resíduos acarreta em problemas como

as enchentes, degradação do meio, problemas com a mobilidade urbana e proliferação de vetores de doenças.

A solução efetiva para a geração de resíduos, considerando-se ainda as especificidades regionais, são ações integradas dos governos municipal, estadual e federal com a iniciativa privada. No conjunto de iniciativas necessárias para o avanço da construção sustentável no país, a gestão de resíduos é, provavelmente, a que mais rápido pode oferecer resultados significativos (CARELLI et al., 2015).

É importante ressaltar que a Resolução CONAMA nº 448/2002 estabelece como objetivo prioritário para os geradores a não geração de resíduos, e como objetivos secundários, a redução, reutilização, reciclagem e disposição final. Essa visão tem feito com que as empresas estabeleçam em seus processos de gestão, a preocupação com a não geração; ponto fundamental quando tratamos de questões voltadas à melhoria dos processos, à inovação dos processos produtivos e à escolha dos materiais a serem empregados.

Na tentativa de contribuir com a melhoria do gerenciamento dos resíduos da construção civil, uma vez que a quantificação dos resíduos é uma etapa fundamental no gerenciamento, pois é o momento onde toda a logística de resíduos da obra é estabelecida, por isso é importante ressaltar a necessidade de estimar de forma correta a geração de resíduos. Este estudo abordou o ajuste do modelo de estimativa de geração de RCC de André Nagalli, método este que toma por base o processo construtivo adotado, a experiência e tamanho da equipe executora, eficiência de fiscalização da equipe de gerenciamento e cronograma da obra.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo Geral**

Ajustar o modelo matemático de Nagalli (2014) para estimativa de resíduos de construção civil em uma obra de alvenaria estrutural.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

Quantificar o volume de resíduos, classe A gerados na atividade de alvenaria.

Analisar a geração de resíduos da obra estudada e compará-los com referências nacionais e internacionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

O ser humano sempre se valeu dos recursos naturais para atender as suas necessidades, com isso observa-se que ao longo da história, o homem aumentou sua apropriação desses recursos. Este processo de consumo e apropriação destes foi muito acelerado em dois momentos da história: no surgimento da moeda e na Revolução Industrial (NAGALLI, 2014).

Todo processo econômico gera resíduos. Mesmo sendo considerados inservíveis por uma parcela considerável da sociedade, os resíduos possuem, aproximadamente, 40% de materiais recicláveis. Esta parcela reciclável é atrativa econômica, energética ou ambientalmente (FIGUEIREDO, 1994).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), define como resíduos sólidos como:

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 técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p.1).

A gestão dos resíduos sólidos se enquadra nas atividades de saneamento básico, pois existe a interdependência entre este, a saúde e o meio ambiente. Portanto, as ações de gerenciamento de resíduos da construção civil devem ser elaboradas e executadas de tal forma que contribuam com a melhoria da qualidade ambiental proporcionada a população (MARIANO, 2008).

A Agenda 21 considera que os resíduos sólidos, em geral, são um dos principais causadores de degradação ambiental, seja pelo volume gerado ou por seu tratamento e destinação inadequada. Sua gestão representa um dos principais desafios a serem resolvidos por organismos do governo e prefeituras municipais.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, ou seja, conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes

aos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, com o objetivo de minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos(BRASIL,2010).

2.1.1 Resíduos da Construção Civil

No Brasil, a urbanização acelerada e o rápido adensamento das cidades de médio e grande porte têm provocado inúmeros problemas para a destinação do grande volume de resíduos gerados em atividades de construção civil, hoje dispomos de informações que nos permitem atestar a significância das perdas na construção civil e quantificar a geração dos resíduos de construção civil (RCC), demonstrando a predominância na composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em cidades de médio e grande porte (PINTO, 1999).

A Resolução n° 307 (CONAMA, 2002), define resíduos da construção civil como:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha(CONAMA, 2002, p.1).

A classificação dos RCC pode ser realizada quanto a sua constituição, periculosidade, destino, acondicionamento, estado físico entre outras. A norma NBR 10004 (ABNT, 2004), é utilizada como referência para classificação dos resíduos sólidos, definindo três classes de resíduos: Classe I (perigosos), Classe IIA (não inertes) e Classe IIB (inertes).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) optou por não utilizar tal classificação para a construção civil, por isso propôs um novo sistema de classificação. As diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil foram estabelecidos pela Resolução n°307 (CONAMA, 2002).

Os resíduos da construção civil são classificados segundo a Resolução CONAMA 307/2002 e suas alterações, como apresenta o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos RCC de acordo com a Resolução nº 307/2002

Classe	Origem	Tipo de Resíduo
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, tijolos, blocos cerâmicos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto em geral.
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações.	Tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e latas vazias de tintas imobiliárias.
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Tais como manta asfáltica, fórmicas, manta de EVA, sacaria de gesso entre outros.
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Resolução CONAMA 307/2002

A geração dos RCC se dá por inúmeros fatores que estão relacionados ao projeto, seja pela falta de definições e/ou detalhamentos satisfatórios, falta de precisão nos memoriais descritivos, baixa qualidade dos materiais adotados, baixa qualificação da mão-

de-obra, o manejo, transporte ou armazenamento inadequado dos materiais, a falta ou ineficiência dos mecanismos de controle durante a execução da obra, ao tipo de técnica escolhida para a construção ou demolição, aos tipos de materiais que existem na região da obra e finalmente à falta de processos de reutilização e reciclagem no canteiro. Além das construções, as reformas, ampliações e demolições são outras atividades altamente geradoras de RCC (LIMA; LIMA, 2016).

A reutilização e/ou reciclagem ainda são colocadas em segundo plano, pois o grau de fiscalização ainda é pouco e o gerador do resíduo, em sua grande maioria, não se preocupa com possíveis danos a serem causados, o que conseqüentemente, não o faz assumir qualquer responsabilidade sobre os resíduos gerados. Ademais, os impactos ambientais, causados pela extração da matéria-prima de fontes naturais e esgotáveis, podem ser irreversíveis (LI et al., 2011).

Segundo Nagalli (2014), o gerenciamento dos resíduos da construção civil deve atuar como um conjunto de ações operacionais que objetivam a redução da geração dos resíduos em um determinado empreendimento ou atividade. Tais ações proporcionam uma melhor organização do canteiro, possibilitando uma obra mais limpa.

O ciclo PDCA (*Plan; Do; Control; Action*), é uma das ferramentas mais utilizadas no gerenciamento, este ciclo tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução do gerenciamento (NOVAES; MOURÃO, 2008).

Segundo Blumenschein (2004), apresentar soluções viáveis e ágeis é um dos maiores desafios da gestão dos RCC, relacionam-se, portanto os diferentes fatores e aspectos, entre eles a falta de integração dos agentes relevantes do setor público; do setor privado e do setor de pesquisa; a falta de integração dos instrumentos de gestão (legais, econômicos e sociais). Um caminho a ser trilhado é a integração de agentes envolvidos no processo, cada um assumindo sua atuação e todos integrados trabalhando em direção a um objetivo único, conforme descreve o Quadro 2.

Quadro 2 – Responsabilidades na gestão de RCC.

Agentes	Responsabilidades
Estado	Introdução de instrumentos de regulamentação direta e econômica visando à regulamentação do gerenciamento da coleta; Fiscalização de disposição; Busca do fortalecimento das atividades recicladoras; Estabelecimento de metas para redução do uso de recursos naturais escassos; Incentivos ao uso de agregados reciclados; Estabelecimento de áreas legais de disposição de resíduos da construção civil.
Geradores	Redução da geração de resíduos através da adoção de métodos construtivos mais racionais; Gerenciamento de resíduos sólidos durante o processo construtivo; Conscientização da necessidade de utilizar materiais reciclados, de viabilizar as atividades de reciclagem, e de assegurar a qualidade dos resíduos segregados; Investimento em pesquisa e desenvolvimento.
Transportadores	Exercer o exercício da atividade de transportador de maneira consciente e responsável, levando os resíduos às áreas destinadas pelo município; Conscientização de seus motoristas sobre os impactos causados por resíduos dispostos irregularmente; Emissão do controle de transporte de resíduos (CTR).
Empresas recicladoras de entulho	Assegurar a qualidade dos agregados reciclados.

Fonte: Adaptado de BLUMENSCHNEIN, 2004.

2.2 LEGISLAÇÕES E NORMATIZAÇÕES

2.2.1 Arcabouço Legislativo

A cultura empresarial no Brasil que tem por objetivo limitar as atividades empresariais jurídicas no setor da construção civil revela que, quanto mais efetivas forem

as fiscalizações, maior é a probabilidade de se cumprir os preceitos ambientais legais (NAGALLI, 2014).

O Brasil passa por um crescente processo de planejamento e organização, com isso criou nas últimas décadas diversas diretrizes na forma de “políticas”, com força de lei. Em 1981 foi criada a Política Nacional de Meio Ambiente, Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981).

Além da Política Nacional do Meio Ambiente surgiram outras políticas: Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997); a Política Nacional de Educação Ambiental, Lei Federal nº 9.795 (BRASIL, 1999); a Política Nacional do Saneamento Básico, Lei Federal nº 11.445 (BRASIL, 2007) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010).

Aprovada em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos disciplina a gestão dos resíduos de construção civil de maneira diferenciada das regras para a indústria. Aspecto fundamental de seu decreto regulamentador, os RCC devem ser geridos de acordo com as regulamentações específicas do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), o qual inclui as resoluções do CONAMA.

2.2.2 Resoluções CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, cuja função é estabelecer normas e limites e/ou padrões federais de poluição ambiental, que deverão ser observados pelos Estados e Municípios, com o objetivo de resguardar o meio ambiente.

Dessa forma, a Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações passaram a ser a principal diretriz para os setores público e privado, e a sociedade como um todo. Ela apresenta um modelo de gestão no qual são definidas responsabilidades para os agentes envolvidos: geradores, transportadores, áreas de destinação e municípios.

Desde a sua publicação em 5 de julho de 2002 a Conama 307 sofreu alterações contemplando as melhorias decorrentes de sua implementação. Evolução da Resolução CONAMA 307/2002:

Junho 2002 - 1ª Publicação

Agosto 2004 - Publicação da CONAMA 348/2004 –Que insere o resíduo de amianto na classificação como resíduo classe D, requerendo cuidados especiais na sua disposição;

Maio 2011 - Publicação da CONAMA 431/2011 - Altera a classificação do resíduo de gesso de classe C para classe B – recicláveis;

Janeiro 2012 - Publicação da CONAMA 448/2012 - Compatibiliza com a Política Nacional de Resíduos, estabelecendo novos prazos;

Julho 2015 - Publicação da CONAMA 469/2015 - Inclui na classe B(resíduos recicláveis), as embalagens vazias de tintas imobiliárias.

A Resolução CONAMA 275 muito embora não trate diretamente de RCC tem reflexo sobre o seu gerenciamento, pois estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos.

2.2.3 Normas ABNT

Com o intuito de contribuir para a atuação do engenheiro/gestor estabelecendo parâmetros e métodos sobre a gestão de resíduos da construção civil, apresentam-se abaixo algumas das principais normas vigentes.

NBR 11174 - Armazenamento de resíduos classes II não inertes e III – inertes.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para obtenção das condições mínimas necessárias ao armazenamento de resíduos classes II-não inertes e III-inertes, de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente. Aplica-se ao armazenamento de resíduos classes II e III, conforme definido na NBR 10004 (ABNT, 1990, p.1)

NBR 12235 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para o armazenamento de resíduos sólidos perigosos de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente. Aplica-se ao armazenamento de todos e quaisquer resíduos perigosos Classe I, conforme definido na NBR 10004 (ABNT, 1992, p.1)

NBR 15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de Transbordo e Triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.(ABNT, 2004a, p.1)

NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes. Visa a reservação de materiais de forma segregada, possibilitando o uso futuro ou, ainda, a disposição destes materiais, com vistas à futura utilização da área. Visa também a proteção das coleções hídricas superficiais ou subterrâneas próximas, das condições de trabalho dos operadores dessas instalações e da qualidade de vida das populações vizinhas (ABNT, 2004b, p.1)

NBR 15114 - Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A. Se aplica na reciclagem de materiais já triados para a produção de agregados com características para a aplicação em obras de infra-estrutura e edificações, de forma segura, sem comprometimento das questões ambientais, das condições de trabalho dos operadores dessas instalações e da qualidade de vida das populações vizinhas.(ABNT, 2004c, p.1)

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

2.3.1 Modelos não lineares

O uso do modelo normal, também conhecido como modelo clássico de regressão para análise de dados, é uma das técnicas mais comumente utilizadas para estimação. Porém, algumas de suas suposições, como a normalidade e a linearidade nos parâmetros, não são satisfeitas. Este fato impulsionou o desenvolvimento de novas técnicas estatísticas para os modelos de regressão, surgindo, então os modelos de regressão não linear e os modelos lineares generalizados (MATTOS, 2013).

Os modelos lineares e não lineares são utilizados com o objetivo de relacionar e compreender uma variável dependente (resposta) e uma ou mais variáveis explicativas

(independente). Porém, em algumas situações um modelo não linear pode ser mais apropriado, uma vez que muitos fenômenos geralmente não são lineares (MATTOS, 2013).

O modelo de regressão não linear pode ser escrito de acordo com a Equação 1.

$$y_i = f(x_i, \theta) + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Onde:

y_i = é a variável resposta;

$f(\cdot)$ = é uma função não linear contínua, com forma conhecida, do vetor de variáveis explicativas x_i ;

x_i = vetor de variáveis explicativas;

θ = parâmetros desconhecidos;

ϵ_i = erros aleatórios.

Os métodos iterativos mais conhecidos são: Steepest-Descent ou método do Gradiente, Marquardt e o Gauss-Newton, sendo Gauss-Newton um dos mais utilizados pelos autores em estudos de modelos não lineares.

2.3.2 Coeficiente de determinação

Segundo Araújo Neto (2016), o coeficiente de determinação (R^2) é o coeficiente que mede o quanto a variável dependente pode ser explicada pela equação de regressão.

O R^2 pode assumir valores de 0 a 1 (0 a 100%), quando os valores são próximos de 1 indicam que a regressão determinada possui um bom ajuste para explicar o comportamento da variável dependente em relação a variável independente. Em contrapartida quando a observação de R^2 com valores baixos, próximos de zero, indicam que o modelo não consegue explicar a relação existente entre as variáveis (ARAÚJO NETO, 2016).

2.3.3 Soma dos quadrados dos resíduos

No ajuste dos modelos de regressão existem erros de aproximação que são associados a cada elemento da amostra. Os erros de aproximação são denominados de resíduos estatísticos e correspondem à diferença entre o vetor de observações (real) Y e o

vetor dos valores ajustados (previstos, estimados) \hat{Y}_i são denominados conforme a Equação 2 (ARAÚJO NETO, 2016).

$$\epsilon = (Y_i - \hat{Y}_i) \quad (2)$$

onde: ϵ = resíduo estatístico;

Y_i = valor observado da variável dependente;

\hat{Y}_i = valor estimado pelo modelo estatístico.

Ainda conforme Araújo Neto (2016) o modelo que melhor se ajusta aos dados observados pode ser determinado a partir da soma dos quadrados dos resíduos (SQR), pois quando menor o SQR melhor será o modelo.

2.3.4 Estimativa de RCC

A quantificação dos resíduos, que serão gerados no decorrer da obra deve ser realizada antes de iniciar-se a obra, ou seja, na fase de projetos, pois neste momento em que se estabelece o tamanho da equipe de gerenciamento, quantidade e capacidade dos coletores temporários e como será feito o transporte dos RCC dentro da obra (NAGALLI, 2014).

Os métodos utilizados para estimar resíduos da construção civil estão cada vez mais comuns, em sua maioria correlacionam aspectos geométricos das construções com a geração de resíduos. A seguir são apresentados alguns métodos da literatura científica que são muito utilizados para estimar as quantidades de RCC.

2.3.4.1 Método de Li et al.

É um método que toma por base a área do piso coberto do empreendimento, que incluem as paredes externas e excluem os telhados. Este método classifica o resíduo em duas categorias: materiais de tipo majoritário e minoritário, relacionados à quantidade adquirida.

A geração de resíduos associada aos tipos “majoritários” de materiais é calculada a partir da sua quantidade adquirida. A geração de resíduos para os itens “minoritários” de materiais é estimada como um percentual da quantidade total de resíduos da construção.

A primeira etapa do método é realizada, conforme a Equação 3.

$$WG = \sum_{i=1}^n Mi \cdot ri + Wo \quad (3)$$

Onde:

WG = total de resíduo gerado no empreendimento, em massa (kg);

Mi = quantidade adquirida de material majoritário “i” na lista, em peso/massa (kg);

ri = taxa de resíduo ou desperdício do material “i”;

Wo = resíduo remanescente;

n = quantidade de tipos de materiais majoritários.

A segunda etapa do método é realizada, conforme a Equação 4.

$$WGA = \frac{WG}{GFA} \quad (4)$$

Onde:

WGA = taxa de geração de resíduos por área de piso coberta;

GFA = área de piso coberta da edificação (m²).

A terceira etapa do método é realizada, conforme a Equação 5.

$$WGAi = \frac{(Mi \cdot ri)}{GFA} \quad (5)$$

Onde:

WGAi = taxa de geração de resíduos par materiais majoritários “i”.

2.3.4.2 Método de Nagalli

Método objetivo de estimativa da geração de resíduos. A partir de sua experiência o autor buscou a correlação entre algumas das principais variáveis que interferem na geração

de resíduos de construção civil. A quantidade estimada de um determinado resíduo, definida por X , é então expressa pela Equação 6.

$$X = \frac{Ke * Kp^2 * Kf * Kc}{(Ke + Kp + Kf + Kc)^2} * Q * T + S \quad (6)$$

Onde:

X = quantidade estimada de resíduo;

Ke = fator de equipe, a ser determinado para cada equipe da empresa;

Kp = fator de processo, a ser determinado para cada processo construtivo;

Kf = fator de fiscalização, que é a função do nível de controle da obra;

Kc = fator de cronograma, que representa a flexibilização temporal para execução da atividade;

Q = quantidade da unidade de referência do processo;

T = recorrência de um resíduo;

S = sobras de material.

Os coeficientes da equação devem ser ajustados à realidade da obra que o método será aplicado.

O coeficiente Ke corresponde ao dimensionamento adequado ou não e o nível de experiência e treinamento da equipe responsável pela atividade. É obtido no Quadro 3.

Quadro 3 – Fator Ke , nível de experiência da equipe.

Experiência e treinamento	Tamanho da equipe	Ke
Inexperiente ou pouco treinada	Inferior à necessidade	1,5
	Compatível com a necessidade	1,3
	Superior à necessidade	1,2
Experiente e/ou treinada	Inferior à necessidade	1
	Compatível com a necessidade	0,9
	Superior à necessidade	0,7

Fonte: Nagalli, 2014.

O coeficiente Kp corresponde ao tipo de processo construtivo que se espera executar. A natureza da atividade é fator importante na geração de resíduos, o Quadro 4 lista os valores de Kp .

Quadro 4 – Fator Kp, tipo de processo construtivo.

Processo construtivo	Kp
Alvenaria com blocos cerâmicos	1,15
Alvenaria com blocos de concreto	1
Alvenaria com blocos solo-cimento	1,5
Tapumes em madeira	2
Tapumes metálicos	0,8
Forro em gesso acartonado	1,5
Vidros	0,05

Fonte: Nagalli, 2014.

O coeficiente Kf corresponde ao rigor da fiscalização na obra, sendo esta fiscalização externa ou interna. Empresas que possuem políticas para certificação como é o caso da empresa estudada, estão habituadas a promover auditorias internas e externa com o objetivo de melhoria continua nas suas atividades. O Quadro 5 indica sugestões para o Kf.

Quadro 5 – Fator Kf, que diz respeito à frequência de fiscalização e auditoria da obra.

Frequência de fiscalização	Kf
Escassa	1,4
Esporádica	1,1
Regular	1,1
Permanente	1

Fonte: Nagalli, 2014.

O coeficiente Kc corresponde ao risco de atraso do cronograma (físico ou financeiro) de execução. Quanto menor o tempo disponível para execução da tarefa, maior o risco de seu não cumprimento.

A cobrança sobre os funcionários e o rigor no cumprimento dos prazos irá influenciar no cronograma, como demonstra o Quadro 6.

Quadro 6 – Fator Kc, influência do cronograma da obra sobre a geração de resíduos.

Flexibilização do cronograma	Kc
Prazo flexível e longo, com atividades no caminho crítico	1,2
Prazo flexível e longo, com atividades fora do caminho crítico	1,1
Atividades de curta duração, no caminho crítico	1,1
Atividades de curta duração, fora do caminho crítico	1

Fonte: Nagalli, 2014.

Portanto, o caminho crítico é a linha temporal com as atividades que devem ser seguidas sequencialmente, ou seja, caso não forem cumpridas irão comprometer o cronograma geral da obra.

O coeficiente Q corresponde à unidade de referência tomada por base na definição da quantidade total de resíduos, ou seja, representa o quanto será produzido de uma determinada atividade.

O parâmetro T representa a recorrência de um resíduo na execução da atividade construtiva.

Por fim o parâmetro S dependerá da política de compras da empresa, ou seja, como a empresa gerencia a aquisição de materiais. Pode-se definir S de acordo com a Equação 7.

$$S = tp \cdot P \cdot Q \quad (7)$$

Onde:

tp = taxa percentual de perdas;

P = percentual de transformação das sobras em resíduos;

Q = quantidade da unidade de referência do processo.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida na cidade de Natal - RN, em uma das obras de uma empresa de construção civil. Os dados coletados neste monitoramento permitiram o ajuste do modelo e são de responsabilidade do gestor de resíduo no canteiro de obra.

A obra é executada em alvenaria estrutural, ou seja, toda parede é admitida como elemento de suporte da estrutura, funcionando ao mesmo tempo como elemento estrutural e de vedação. A alvenaria estrutural proporciona além de economia e rapidez, baixos percentuais de geração de resíduos.

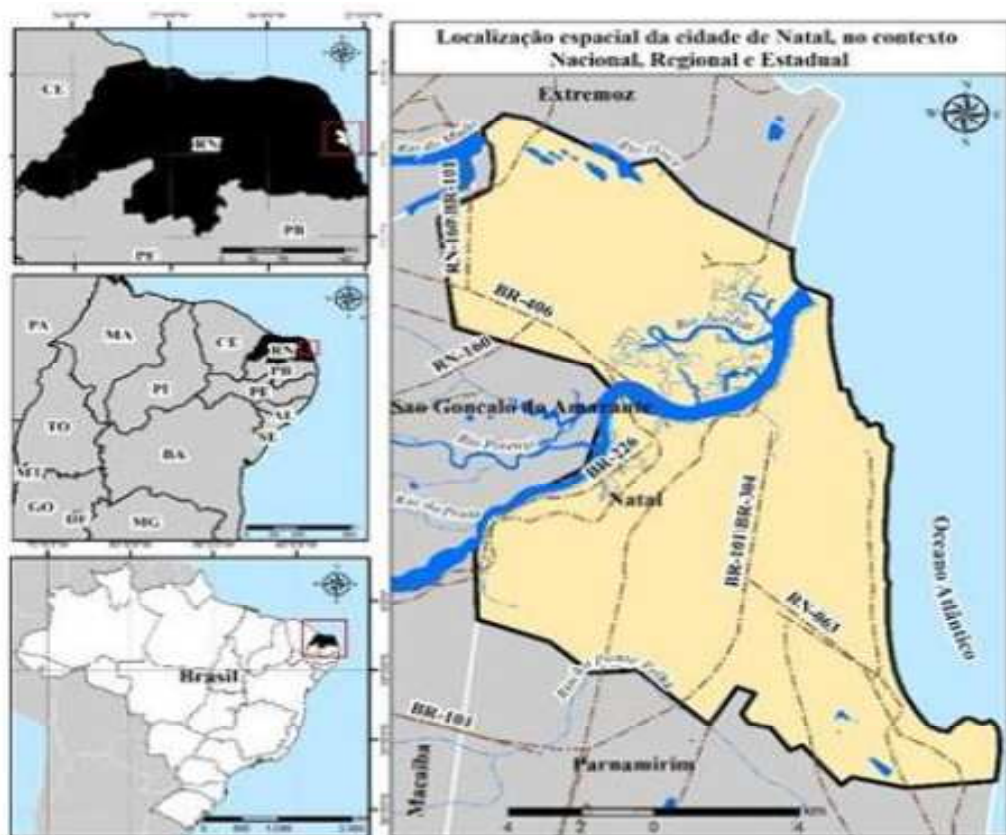
O gerenciamento de resíduos na obra é realizado desde a locação do canteiro de obra até o momento de entrega da obra. A implantação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) é de responsabilidade da equipe técnica de execução da obra citada.

A etapa de coleta de dados demonstrou-se bastante complexa, devido à distância da obra analisada, e só foi possível sua realização devido ao apoio da equipe de gestores da empresa de construção civil e dos funcionários responsáveis pelo PGRCC da obra.

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

A obra estudada é situada na cidade do Natal, capital do Rio Grande do Norte (RN), conforme é ilustrado na Figura 1 que de acordo com o IBGE (2014), tem uma população residente de 862.044 habitantes, com área territorial de 168,53 km² e está localizada na zona costeira brasileira, no extremo leste do estado. É a cidade polo do RN, se caracterizando como cidade com maior dinamismo econômico e sendo o município com maior influência dentro da Região Metropolitana de Natal (RMN).

Figura 1—Mapa da localização estadual, regional e nacional da cidade de Natal.



Fonte: START CONSULTORIA, 2014.

O gerenciamento dos RCC na cidade de Natal é mista, ou seja, parte dos serviços é feita pela prefeitura municipal e outra parte dos serviços é feita pela iniciativa privada. A obra estuda realiza todo o processo de gerenciamento dos RCC classe A, dentro do canteiro, ou seja, os resíduos gerados são devolvidos ao processo produtivo. A obra estudada é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Obra monitorada.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA OBRA

O gerenciamento dos resíduos é realizado conforme estabelece a legislação nacional. Na obra, são utilizadas baias de segregação de resíduos, identificadas por cores (conforme estabelece a Resolução CONAMA 275) como ilustra a Figura 3, de modo a facilitar a organização do canteiro e a separação adequada dos materiais de acordo com sua classificação.

Figura 3 – Código de cores para os diferentes tipos de resíduos.



Fonte: Resolução CONAMA 275/01.

Nas Figuras 4 e 5 são ilustrados os modelos de baias de segregação de resíduos utilizadas atualmente na obra estudada para acondicionar os resíduos temporariamente até que sua disposição final e/ou beneficiamento possam ser realizados. As baias são identificadas conforme estabelece a Resolução nº 275/2002 do CONAMA.

Figura4 – Baia de resíduo, classe A e agregado reciclado.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Figura5 – Baia de resíduos, classe B, C e D.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

As etapas do gerenciamento são seguidas desde a geração até a destinação final adequada do resíduo. A atuação tem início na fonte geradora, onde são coletados os resíduos. Estes são identificados e separados de acordo com a classe, e levados até as baias de resíduos, identificadas por cores e placas.

Os resíduos, classe A são reciclados dentro do processo produtivo, ou seja, passa por um processo de beneficiamento dentro do canteiro de obra e é reaproveitado na forma de agregado reciclado no próprio processo produtivo que os originou. Essa redução do consumo de matérias-primas, bem como dos custos de controle da poluição aumentaram a produtividade da empresa de construção civil e permitem que ela pratique preços competitivos e seja líder do seu segmento. A Figura 6 ilustra o piso permeável utilizado nas garagens do empreendimento que, é um exemplo da aplicação do agregado reciclado na obra.

Figura 6 – Piso permeável utilizando agregado reciclado.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

3.3 INSTRUMENTO E PROCEDIMENTO PARACOLETA DOS DADOS

A seleção da obra foi baseada no fato desta possuir a certificação ISO 9001 e ISO 14001, ou seja, é uma obra que possui um Sistema de Gestão da Qualidade (SGA) e um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) consistentes, fato este que garante uma maior confiabilidade aos dados de geração de resíduos. Após a escolha da obra foram solicitadas as planilhas de controle de geração de resíduos, os dados foram fornecidos pela engenheira da obra.

3.4 MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RESÍDUOS

Os dados categóricos foram apresentados e utilizou-se o método de André Nagalli para desenvolver a pesquisa.

Os coeficientes do método precisam ser determinados de acordo com a obra que será analisada. O método construtivo utilizado pela obra é a alvenaria estrutural, ou seja, o fator K_p será equivalente a 1. A flexibilização do cronograma (K_c) foi determinada como sendo 1,1, pois as atividades são de curta duração, no caminho crítico.

O fator de equipe (K_e) e o fator de fiscalização (K_f) não foram determinados conforme estabelece o autor, pois fez-se necessário estimá-los com o programa computacional STATISTICA versão 12.0, uma vez que, a pesquisa tem como objetivo geral ajustar a curva do modelo.

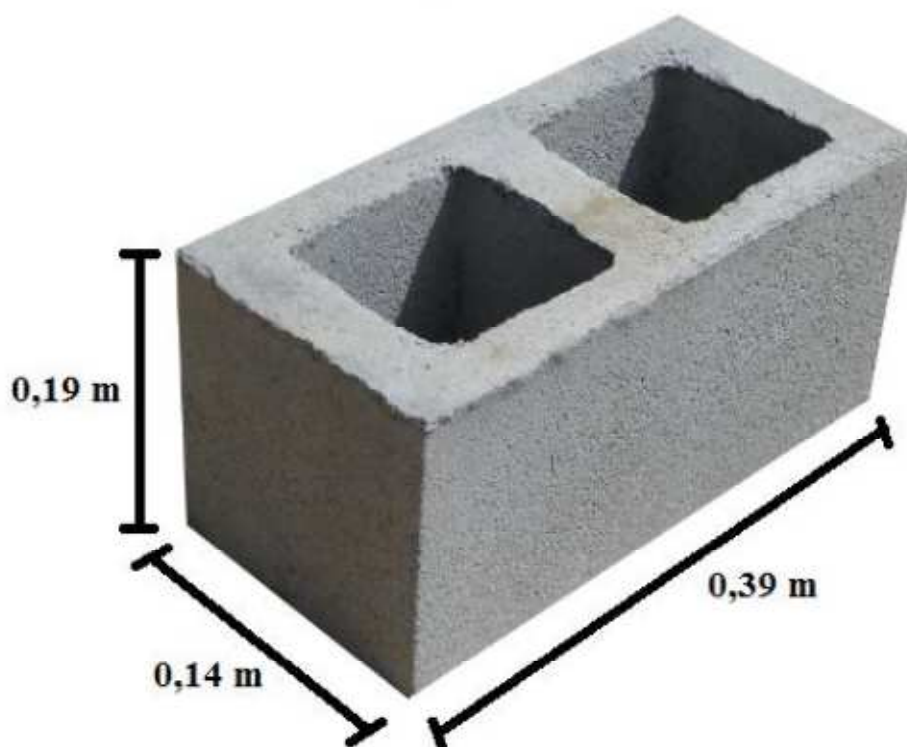
O ajuste foi feito baseado em um modelo de regressão não linear, devido ao comportamento das variáveis em estudo.

O método deve ser utilizado para cada tipo de atividade desenvolvida, por exemplo, faz-se a estimativa para o serviço de alvenaria isolada da estimativa para reboco. Com isso esta pesquisa utilizou os dados gerados com a atividade de alvenaria para ajustar a equação ao método construtivo da empresa de construção civil.

A obra ficou por treze semanas executando apenas alvenaria, por isso os dados analisados são referentes às primeiras semanas do serviço de alvenaria. Como a obra não dispunha de baias de segregação para cada atividade geradora de resíduos, classe A só foi possível analisar os dados referentes às semanas citadas acima.

Durante este período de tempo foi possível executar 8.525,73 m² de alvenaria estrutural utilizando blocos conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Bloco de alvenaria estrutural.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Para aplicar o valor correspondente a unidade de referência (Q) fez-se necessário transformar a metragem quadrada de alvenaria em metragem cúbica. O fator de sobras (S) foi considerado 5% devido à política de compras de materiais da empresa.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Após a consolidação dos dados obtidos, ajustes foram feitos na curva da equação para buscar a maior correlação entre a variável dependente (resposta) e a variável independente (explicativas). É importante ressaltar que os dados da geração de resíduos foram obtidos apenas para a etapa de alvenaria da obra. Logo, os volumes utilizados para a elaboração do estudo são referentes ao serviço de alvenaria, e não para todas as etapas de implantação do empreendimento.

4.1 GERAÇÃO DE RESÍDUO CLASSE A

A primeira relação analisada foi da geração de resíduos, classe A durante as treze semanas analisadas, conforme a classificação da Resolução CONAMA nº 307/02. A Tabela 1 apresenta a geração total (m³) de RCC, classe A para cada uma das treze semanas trabalhadas.

Tabela 1 - Geração de RCC por semana

Semana	Vol. Total de RCC classe A (m ³)	Área construída (m ²)
1	7,0	685,80
2	7,7	754,38
3	8,5	829,82
4	8,3	808,31
5	5,2	508,50
6	5,7	559,32
7	6,2	599,68
8	6,1	592,51
9	5,9	573,73
10	6,5	631,09
11	7,1	694,22
12	7,3	709,10
13	5,9	579,3
	87,5	8525,7

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

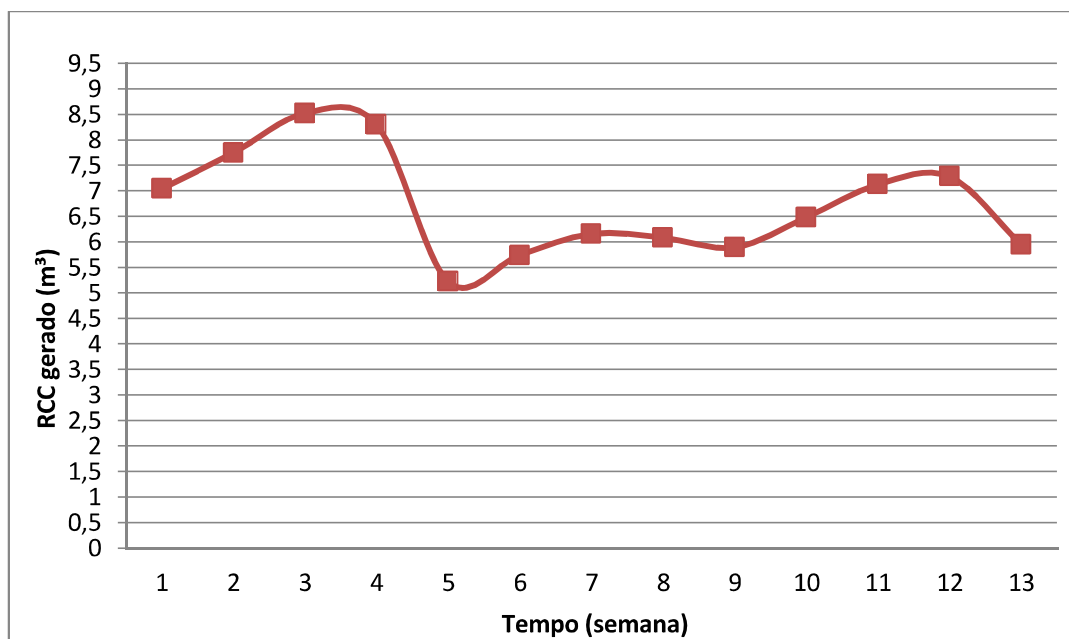
A partir disso, verificou-se que a geração de resíduos classe A, varia de 5,2 a 8,5 m³/semana. O volume total de RCC classe A gerado é de 87,5 m³ para uma produção de 8.525,7 m² de alvenaria, sendo assim pode-se chegar à taxa média de geração de resíduos de 0,0103 m³/m².

É importante ressaltar que os resíduos gerados até o momento são do tipo argamassa e blocos de concreto. Como já descrito, os resíduos sólidos provenientes da construção civil seguem a classificação disposta pela Resolução do CONAMA n^o 307/02, que categoriza como resíduos classe A aqueles reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, tais como argamassas e concretos, placas pré-moldadas, entre outros, inclusive solos provenientes de terraplanagem.

4.2 COMPARATIVO DA GERAÇÃO DE RCC DA OBRA ESTUDADA COM INDICADORES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

O controle de resíduos de construção civil pode ser medido em massa ou em volume. Devido o fato de que nem sempre se tem balança disponível em obras, é mais comum o controle volumétrico dos resíduos (m³). A Figura 8 ilustra a geração de RCC na obra estudada durante as treze semanas.

Figura 8 – Geração de RCC Classe A por semana



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Os resíduos de construção pesam em média 1.300 kg/m³ (PINTO, 2004). De acordo com Novaes e Mourão (2008) os países desenvolvidos possuem uma média de 100 kg/m² de resíduos produzidos em novas obras, enquanto que no Brasil novas obras chegam a alcançar a taxa de 300 kg/m², porém o Banco Real (2001) indica que este índice seja de 150 kg/m².

A partir do peso específico indicado por Pinto (2004), pode-se converter o índice encontrado na obra analisada de m³/m² para kg/m², sendo assim o índice 0,0103 m³/m² pode ser convertido para 13,39 kg/m². Comparando o índice obtido com o citado por Novaes e Mourão (2008), de 100 a 300 kg/m², pode-se observar que a obra avaliada apresenta índice de geração de resíduos bem abaixo do esperado para as obras brasileiras, segundo Novaes e Mourão (2008).

O índice obtido na obra da empresa de construção civil também fica muito abaixo do citado pelo Banco Real (2001). Após analisar dez obras no Brasil Bertol, Raffler e dos Santos (2013), indicam uma taxa de geração de resíduos da construção civil de 0,051 m³/m², ou seja, 66,30 kg/m².

Li et al. (2013), apontam índice de 40,7 kg/m² de resíduos da construção civil para uma obra na China. Estudos espanhóis indicam uma geração de 120 kg/m² para novas construções e 338,7 kg/m² para reformas.

4.3 AJUSTE DO MODELO

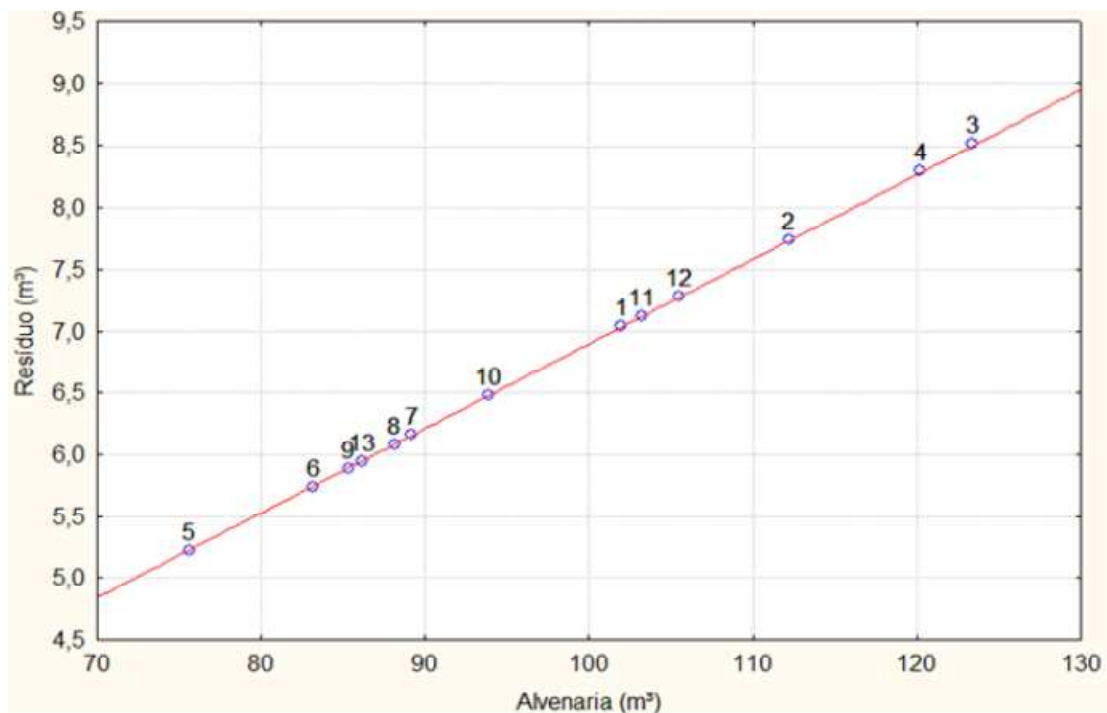
A Equação 8 mostra o modelo ajustado, para um coeficiente de determinação de 99% e uma soma de quadrado dos resíduos matemáticos de 0,0011, o que representa um valor muito baixo mostrando a força do ajuste do modelo.

$$y = \frac{0,1098 * 1^2 * 0,2677 * 1,1}{(0,1098 + 1 + 0,2677 + 1,1)^2} * x * 13 + 0,05 \quad (8)$$

Observa-se pela Equação que os valores estimados para Ke e Kf são respectivamente 0,1098 e 0,2677. O que representa para o Ke que a equipe apresenta experiência superior a necessidade e o Kf mostra que a fiscalização é permanente, de acordo com os quadros 3 e 5. O que aponta para excelência do processo construtivo com relação à geração dos RCC.

A partir da Figura 9 pode-se constatar que os valores estimados pelo modelo são coincidentes com a reta que representa o modelo, desta forma pode-se avaliar como um bom instrumento para estimativa dos resíduos gerados em função da área de alvenaria produzida, servindo como base para geração dos orçamentos iniciais das obras.

Figura 9–Ajuste dos Valores Experimentais ao Modelo.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas foram consideradas satisfatórias. O modelo matemático foi validado através da análise de variância que apresentou um p-valor muito menor que o nível de significância, de 5%, além disto, apresentou-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,99.

Pode-se concluir que:

- O método de Nagalli mostrou-se eficiente para o método construtivo de alvenaria estrutural na etapa de alvenaria, portanto pode ser utilizado nas estimativas da geração de resíduos no período de orçamento das construções, podendo assim nortear as medidas cabíveis para o planejamento da obra e gerenciamento dos resíduos, ou seja, incorporar ao PGRCC.
- O método construtivo é fundamental para estimativa da geração de resíduos, percebe-se, então, que a escolha dos materiais que não geram muitos resíduos durante a execução dos serviços é essencial para diminuir o desperdício e as perdas, além de aumentar a eficiência da produção.
- A mão-de-obra qualificada e experiente corrobora com a redução da geração de resíduos, pois executa o serviço com qualidade e o índice de retrabalho é quase zero.
- As certificações ISO são vantajosas quanto ao gerenciamento eficaz dos resíduos e auxiliam nas estatísticas positivas da obra em relação a sua geração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11174: Armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III – inertes – Procedimento. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12235: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15112: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2014. Rio de Janeiro, 2014.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Porto Alegre: Unisinos, 2003. P. 165.

ARAÚJO NETO, C. L. **Análise do Comportamento dos resíduos Sólidos Urbanos e Desenvolvimento de Modelos Estatísticos para Previsão das Deformações de Aterros Sanitários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

ARAÚJO, T. R. **Aspectos qualitativos e quantitativos dos resíduos de construção e demolição (rcd) na cidade de Campina Grande**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

BANCO REAL. **Guia de Boas Práticas na Construção Civil**. 2001. Disponível em:<www.bancoreal.com.br/sustentabilidade>. Acesso em: 20. mar. 2016

BLUMENSCHNEIN, R.N. **A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Indústria da Construção**. 2004. Tese(Doutorado em Política e Gestão Ambiental)-Universidade de Brasília Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2004.

BERTOL, A. C.; RAFFLER, A.; DOS SANTOS, J. P. **Análise da Correlação entre a Geração de Resíduos da Construção Civil e as Características das Obras**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BORGES, B. L. M. **Simplificando a estatística: coletânea de textos e exercícios didáticos**. Campina Grande: EDUEP, 2003.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2 set. 1981.

BRASIL. Lei Federal nº 7.804, de 18 de julho de 1989. Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 20 jul. 1989.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispões sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 28 abr. 1999.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de julho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 8 jan. 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2008.

CARELLI É. et al. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: Avanços Institucionais e Melhorias Técnicas**. Sindicato da Construção: São Paulo, 2015.

CBIC – CAMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção Civil Fecha 2015 com Forte Retração e Busca Novo Fôlego**. 2014. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sites/default/files/CBIC%20-%20CONTRUCAO%20CIVIL%20FECHA%202015%20COM%20FORTE%20RETRACAO%20-%20BALANCODEZ2015%2005012016.pdf>>. Acesso em: 13. jan. 2016.

_____. Resolução Conama nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e

transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Diário Oficial da União, Brasília, n 117-E, seção1, p.80, 19jun. 2001.

_____. Resolução Conama n° 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, n. 136,p.95 - 96, 17 jul. 2002.

_____. Resolução Conama n° 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução Conama n° 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da União, Brasília, n. 158, seção 1, p.70, 17 ago. 2004.

_____. Resolução Conama n° 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3° da Resolução n° 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União, Brasília, n. 99, p. 123, 25 maio 2011.

_____. Resolução Conama n° 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera o art. 3° da Resolução n° 307 de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, n. 14, p. 76, 19 jan. 2012.

_____. Resolução Conama n° 469, de 29 de julho de 2015. Altera os arts. 2°, 4°, 5°, 6°, 8°, 9°, 10° e 11° da Resolução n/ 307 de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, n. 14, p. 109, 30 jul. 2015.

FIGUEIREDO, P. J. M. **A Sociedade do Lixo: os Resíduos, a Questão Energética e a Crise Ambiental**. Piracicaba: São Paulo, Editora UNIMEP, 1994.

LI, J.; DING, Z.; MI, X.; WANG, J. **A model for estimating construction waste generation index for building Project in China**. Resources, Conservation and Recycling, v. 74, p. 20-26, 2013.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. 2016. Disponível em: <http://www.crea-pr.org.br/crea3/html3_site/doc/guia/cartilhaResiduos_baixa.pdf>. Acesso em: 05. abr. 2016.

LI, Q. M.; SHEN, L. Y.; YUAN, F. **Energy analysis of the recycling options for construction and demolition waste**. Waste Management, v. 31, n. 12, p. 2503-11, 2011.

MARIANO, L. S. **Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil com Reaproveitamento Estrutural: Estudo de Caso de Uma Obra com 4.000 m²**. 2008. Dissertação (Mestrado Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MATTOS T. B. Modelos Não Lineares e suas Aplicações. Monografia (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NOVAES, M. V.; MOURÃO, C. A. M. A. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil**. Cooperativa de Construção Civil do Estado do Ceará, Fortaleza, 2008.

PINTO, F. A. R. **Resíduos Sólidos Industriais: Caracterização e Gestão:O Caso do Estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

START CONSULTORIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município De Natal/RN**: Produto 02 - Diagnóstico da Situação do Saneamento. 2014. Disponível em: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrador/Meus%20documentos/Downloads/PMSB_CHARACTERIZACAO_GERAL.pdf>. Acesso em: 13. abr. 2016.