



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS
NA PRODUÇÃO DE OBRAS RESIDENCIAIS VERTICAIS**

MICHELE FERREIRA DIAS

São Leopoldo, Setembro de 2013.

D541m Dias, Michele Ferreira

Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais / Michele Ferreira Dias. -- Porto Alegre, 2013.
115 f. : il. ; color. ; 30cm.

Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2013.

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern. Coorientadora: Profa. Dra. Marlova Piva Kulakowski.

1. Engenharia civil. 2. Construção civil. 2. Resíduos de construção. 3. Resíduos de construção - Quantificação. 4. Regressão linear múltipla. I. Título. II. Kern, Andrea Parisi. III. Kulakowski, Marlova Piva.

CDU 624

MICHELE FERREIRA DIAS

**MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA
PRODUÇÃO DE OBRAS RESIDENCIAIS VERTICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Andrea Parisi Kern

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marlova Piva Kulakowski

Banca examinadora: Prof. Dr. Sérgio Cirelli Ângulo

Prof^ª. Dr^ª. Luciana Paulo Gomes

São Leopoldo, Setembro de 2013.

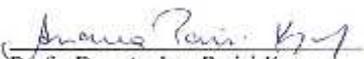
TERMO DE APROVAÇÃO

MICHELE FERREIRA DIAS

“MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA PRODUÇÃO DE OBRAS RESIDENCIAIS VERTICAIS”

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 05 de setembro de 2013.


Prof. Dra. Andrea Parisi Kern
Orientadora - UNISINOS


Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski
Coorientadora - UNISINOS


Claudio de Souza Kazmierczak
Coordenador do PPGEC - UNISINOS

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. Luciana Paulo Gomes – UNISINOS


Prof. Dr. Sérgio Cifelli Angulo - USP

A Deus e a minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter colocado pessoas tão especiais na minha vida e por me conduzir por caminhos pelos quais jamais poderia esperar.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Andrea Parisi Kern que além de professora e orientadora, foi amiga em todos os momentos. Obrigada pela confiança, compreensão, dedicação, tempo e esforço dedicado a este trabalho.

À Prof^a Dr^a Marlova Piva Kulakowski pela coorientação e contribuições no exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González pela contribuição dada no exame de qualificação.

Ao Sinduscon, pela colaboração e financiamento da pesquisa.

Às empresas construtoras que gentilmente nos cederam informações e abriram suas portas para nos receber.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e a FAPERGS, pela concessão da bolsa de iniciação científica.

Aos professores e funcionários do PPGE/UNISINOS, pelo ensino oferecido e a competência demonstrada.

Aos colegas das duas turmas das quais fiz parte no Mestrado em Engenharia Civil da UNISINOS pelo companheirismo e auxílio no aprendizado, em especial a colega Rosana pelo incentivo a iniciar este desafio.

Ao bolsista de iniciação científica, Gustavo Luis Benini, pela grande contribuição na coleta de informações, seu empenho e solicitude.

Aos membros da Banca, pela disponibilidade em avaliar e contribuir para a melhoria deste trabalho.

Ao meu professor durante a graduação, Antônio Piccoli, pela amizade e incentivo durante toda esta jornada.

À amiga e irmã Silvana Schneider pela grande amizade e auxílio durante toda esta etapa.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, por ser um exemplo de mãe e mulher.

À minha irmã Flávia e ao meu irmão Felipe pelos momentos de descontração e por tê-los sempre ao meu lado dando apoio, amor e carinho.

Ao Thiago pelo amor, carinho, atenção e companheirismo e por me incentivar sempre a seguir em busca de novas conquistas.

Enfim agradeço a todos os meus familiares e amigos pelo apoio e compreensão, agradeço também as pessoas que tive a oportunidade de conhecer neste período e que de alguma maneira contribuíram para esta conquista.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA



Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior - CAPES



Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado
do Rio Grande do Sul - FAPERGS



Sindicato da Indústria da Construção Civil
de Novo Hamburgo/RS - SINDUSCON/NH

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	JUSTIFICATIVA	24
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	25
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	26
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	26
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	26
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	27
2	OS RESÍDUOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE OBRAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
2.1	SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO	28
2.1.1	<i>Resolução CONAMA 307/2002</i>	30
2.1.2	<i>O desafio da quantificação do RCD.....</i>	32
2.1.3	<i>Métodos de quantificação de RCD.....</i>	33
2.2	FATORES QUE INFLUENCIAM A GERAÇÃO DE RESÍDUOS	37
2.2.1	<i>O processo de projeto e a geração de resíduos.....</i>	39
2.2.2	<i>O processo de produção e a geração de resíduos.....</i>	44
3	MÉTODO DE PESQUISA	48
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	48
3.2	ETAPAS DE PESQUISA	49
3.2.1	<i>Estudo piloto.....</i>	49
3.2.2	<i>Levantamento de dados</i>	51
3.2.3	<i>Tratamento dos dados</i>	60
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
4.1	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS OBSERVADO NO ESTUDO PILOTO	63
4.2	VARIÁVEIS NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS: DADOS COLETADOS SOBRE AS OBRAS QUE COMPÕEM A AMOSTRA	66
4.2.1	<i>Variável dependente – número de caçambas coletadas</i>	66
4.2.2	<i>Variáveis independentes relacionadas ao projeto.....</i>	67
4.2.3	<i>Variáveis independentes – relacionadas à produção</i>	69
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO EMPÍRICO	70
4.3.1	<i>Análise descritiva dos dados coletados</i>	71
4.3.2	<i>Análise da variável dependente (Y).....</i>	72
4.3.3	<i>Análise das variáveis independentes</i>	74
4.3.4	<i>Análise de regressão.....</i>	80
4.3.5	<i>Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras verticais residenciais</i>	84
4.3.6	<i>Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas</i>	87
4.3.7	<i>Ajustamento do Modelo</i>	90
5	CONCLUSÃO.....	103
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	ANEXOS	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores referentes à geração total de RCD para construções novas em alguns países	32
Tabela 2 - Cálculo do indicador i_1	36
Tabela 3- Cálculo do indicador i_2	36
Tabela 4 - Cálculo do indicador i_3	37
Tabela 5- Variação do custo de construção em função do índice de compacidade do edifício	42
Tabela 6 - Descrição das empresas participantes do estudo piloto.....	50
Tabela 7 - Identificação das obras acompanhadas em Novo Hamburgo/RS no estudo piloto.	51
Tabela 8 - Percentual de participação das empresas em nº de amostras (obras)	53
Tabela 9 - Descrição empresas participantes do levantamento de dados	53
Tabela 10 - Identificação das obras estudadas.....	55
Tabela 11 - Volume de resíduos gerados.....	67
Tabela 12 – Variáveis independentes relacionadas ao projeto (quantitativas).....	68
Tabela 13 – Variáveis relacionadas à produção (qualitativas)	70
Tabela 14 - Estatística descritiva da amostra.....	71
Tabela 15 - Teste de normalidade variável dependente	72
Tabela 16 – Valores de correlação Pearson entre as variáveis independentes	79
Tabela 17 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 1	80
Tabela 18 - Coeficientes do Modelo 1	81
Tabela 19 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 2.....	82
Tabela 20 – Coeficientes do Modelo 2.....	82
Tabela 21 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 3.....	82
Tabela 22 - Coeficientes do Modelo 3.....	83
Tabela 23 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 4.....	83
Tabela 24 - Coeficientes do Modelo 4.....	83
Tabela 25 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 5.....	84
Tabela 26 - Coeficientes do Modelo 5.....	84
Tabela 29 – Resultados teste de normalidade dos resíduos da regressão.....	85
Tabela 30 - Dados utilizados para o cálculo da estimativa.....	88
Tabela 31 – Comparativo entre os resultados obtidos de geração de resíduos pelo modelo proposto com o volume de resíduos informados pelas empresas e pelos indicadores de estimativa propostos por Pinto (1999); Mália et al. (2011) e Saéz et al. (2012)	89
Tabela 32 - Estatística descritiva da amostra (18 obras)	90
Tabela 33 - Teste de normalidade variável dependente (18 obras)	91
Tabela 34 – Valores de correlação Pearson entre as variáveis independentes	94
Tabela 35 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 7 (18 obras).....	94
Tabela 36 - Coeficientes do Modelo 7.....	95
Tabela 37 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 8 (18 obras).....	95
Tabela 38 - Coeficientes do Modelo 8.....	95
Tabela 39 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 9 (18 obras).....	96
Tabela 40 - Coeficientes do Modelo 9.....	96
Tabela 41 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 10 (18 obras).....	96
Tabela 42 - Coeficientes do Modelo 10.....	96
Tabela 43 – Resultados teste de normalidade dos resíduos da regressão.....	98
Tabela 44 - Comparativo entre os resultados obtidos de geração de resíduos pelo modelo proposto com o volume de resíduos informados pelas empresas e pelos indicadores de estimativa propostos por Pinto (1999); Mália et al. (2011) e Saéz et al. (2012)	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Origem dos RCD em algumas cidades brasileiras (% em massa)	22
Figura 2 - A hierarquia da gestão de resíduos.	29
Figura 3 - Instrumentos para a Gestão de Resíduos de Construção conforme Resolução 307/2002 CONAMA.	31
Figura 4 - Projeto com diferentes conformações (A1- forma quadrada e A2- forma retangular).....	41
Figura 5 - Delineamento da pesquisa	49
Figura 6 - Localização das obras visitadas no estudo piloto	50
Figura 7 - Esquema de compensação por acréscimo de pavimentos.....	58
Figura 8 – (a) Foto obra 3 _p (b) Foto obra 8 _p	63
Figura 9 – (a) Armazenamento de RCD Classe A (b) Armazenamento de RCD Classe B	64
Figura 10 – (a) Baias de armazenamento de resíduos (b) tubulação de descarte nos pavimentos.....	65
Figura 11 – (a) Armazenamento de resíduos de gesso em baias (b) resíduos Classe A sendo reaproveitados como aterro em um vão.....	65
Figura 13 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o volume de resíduos.....	73
Figura 12 - Gráfico <i>boxplot</i> da variável dependente – volume de resíduos gerados.....	73
Figura 14 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)	74
Figura 15 - Gráfico variável número de pavimentos.....	75
Figura 16 - Gráfico variável participação pavimentos tipo sobre o total de pavimentos	75
Figura 17 - Gráfico índice de geração de RCD x número de pavimentos.....	76
Figura 18 - Gráfico variável índice econômico de compactidade	76
Figura 19 - Gráfico variável densidade de paredes internas.....	77
Figura 20 - Gráfico variável área total.....	77
Figura 21 - Gráfico variável área do pavimento tipo.....	77
Figura 22 – Gráfico índice de geração de RCD x área total construída	78
Figura 23 – Gráfico índice de geração de RCD x nº de pavimentos tipo.....	78
Figura 24 - Gráfico P -P Plot para resíduos studentizados	85
Figura 25 – Gráfico variável “Y” ajustada x resíduos studentizados	86
Figura 26 - Gráfico área total x resíduos studentizados	86
Figura 27 - Gráfico tipo/total x resíduos studentizados.....	87
Figura 28 - Gráfico IeC x resíduos studentizados	87
Figura 29 - Gráfico <i>boxplot</i> da variável dependente – volume de resíduos gerados (18 obras)	91
Figura 30 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o volume de resíduos (18 obras).....	92
Figura 31 - Gráfico tendência normal para as 18 obras (detrended normal q-q plot)	92
Figura 32 - Gráfico da variável área do pavimento tipo.....	93
Figura 33 - Gráfico índice de geração de RCD x área do pavimento tipo	93
Figura 34 - Gráfico P -P Plot para resíduos studentizados	98
Figura 35 – Gráfico variável “Y” ajustado x resíduos studentizados.....	98
Figura 36 - Gráfico área do pavimento tipo x resíduos studentizados	99
Figura 37 - Gráfico tipo/total x resíduos studentizados.....	99
Figura 38 - Gráfico IeC x resíduos studentizados	100

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAT – Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção

AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

BIM – *Building Information Modeling*

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

UE – União Europeia

FGV – Fundação Getúlio Vargas

ISO – International Organization for Standardization

PBQP-H – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

PIB – Produto Interno Bruto

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

WEB – World Wide Web

IeC – Índice Econômico de Compacidade

TI – Tecnologia da Informação

RESUMO

DIAS, M.F. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. São Leopoldo, 2013. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

A significativa quantidade de resíduos gerada pelo setor da construção civil é hoje um grande problema ambiental a ser enfrentado pelo poder público e empresas construtoras. Para evitar ou reduzir a geração de resíduos é preciso atuar na origem, que pode estar desde o projeto até a fase de execução. O projeto consiste no passo inicial do empreendimento e tem influência significativa sobre o processo construtivo e produto final. Estudos apontam também que o sistema de gestão empregado por construtoras tem relação direta com a ocorrência de perdas, incluindo os resíduos. O conhecimento do índice de geração de resíduos é uma importante informação gerencial, com diferentes objetivos, desde a conscientização do problema, até para servir de base para o planejamento e implementação de ações voltadas à minimização da geração. Contudo, a quantificação dos resíduos de construção ainda pode ser considerada como um desafio, tendo em vista características peculiares da construção e a heterogeneidade dos resíduos. Observa-se muita variabilidade nos métodos empregados e variáveis consideradas, além das diferenças relativas à época e contextos pesquisados para geração dos índices e indicadores. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo estatístico para estimar a quantificação da geração de RCD em obras residenciais verticais, considerando características específicas das construtoras que atuam na região metropolitana de Porto Alegre-RS, investigando a influência do projeto e do sistema de produção. A estratégia de pesquisa consistiu num estudo de caso com múltiplas fontes de evidências, utilizando como ferramenta de análise estatística a regressão linear múltipla. A amostra é formada por dados de 20 obras residenciais verticais de 10 empresas que atuam na região metropolitana de Porto Alegre. Como resultado foi gerado um modelo estatístico, formado pela variável dependente (estimativa da quantidade de resíduo a ser gerada) e variáveis independentes relativas ao projeto (área do pavimento tipo, relação entre o número de pavimentos tipos e o número total de pavimentos e Índice econômico de compactidade) e ao sistema de produção (sistema construtivo e reaproveitamento de resíduos no canteiro). O modelo proposto obteve valor de R^2 ajustado = 0,69, permitindo explicar 69% da geração de resíduos em obras com características semelhantes, foi observada melhor aproximação da estimativa realizada pelo modelo quando comparado a algumas estimativas da literatura. A informação gerada através do modelo é importante na conscientização dos empresários locais e útil para basear ações no sentido de minimizar a geração, reciclar ou ações relativas ao destino final adequado, além de possibilitar comparações com informações sobre a geração de resíduos de outras localidades.

Palavras-chave: Construção civil, resíduos de construção, quantificação de resíduos de construção, regressão linear múltipla.

ABSTRACT

DIAS, M.F. Model to estimate the generation of waste in producing vertical construction. São Leopoldo, 2013. 115 p. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

A significant amount of waste generated by the construction industry is now a major environmental problem to be faced by the government and construction companies. To avoid or reduce the generation of waste is necessary to work at the source, which may be from design to the implementation phase. The project consists in the initial step of the development and has significant influence on the construction process and final product. Studies also indicate that the management system employed by construction companies is directly related to the occurrence of losses, including waste. The knowledge of the waste generation rate is important management information, with different goals, since the awareness of the problem, even to serve as a basis for planning and implementation of actions aimed at minimizing the generation. However, the quantification of construction waste can still be considered as a challenge in view of the peculiar characteristics of the construction and the heterogeneity of the wastes. It is observed high variability in the methods employed and the variables considered, and the differences related to the time and contexts searched for generating indices and indicators. This work proposes the development of a statistical model to estimate the quantification of CDW generation in residential construction vertical, considering the specific characteristics of construction companies operating in the metropolitan area of Porto Alegre - RS, investigating the influence of design and production system. The research strategy consisted of a case study with multiple sources of evidence, using as a tool for statistical analysis with linear regression. The sample consists of data from 20 residential construction vertical of 10 companies operating in the metropolitan area of Porto Alegre. As a result generated a statistical model, formed by the dependent variable (the estimated amount of waste to be generated) and independent variables related to the project (area of the pavement type, relationship between the number of flooring types and the total number of floors and economic index compactness) and production system (building system and reuse of waste in construction). The proposed model obtained adjusted $R^2 = 0.69$, allowing explain 69% of waste generation in the works with similar characteristics was observed better approximation to the estimation made by the model when compared to some estimates of the literature. The information generated by the model is important in raising awareness of local entrepreneurs and useful to base actions to minimize the generation, recycling or actions relating to the appropriate destination, and enable comparisons with information on waste generation from other locations.

Keywords: Construction, construction waste, construction waste quantification, multiple linear regression.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem como grande desafio a minimização dos impactos causados ao meio ambiente. Além de ter grande importância na economia e na contribuição para o desenvolvimento econômico do país, com participação de 8,9% no produto interno bruto nacional entre os anos de 2010 e 2011 (ABRAMAT; FGV, 2011), a construção civil caracteriza-se como um dos maiores consumidores de recursos naturais em seu processo produtivo, tanto no Brasil como no exterior (JOHN, 2000; YUAN et al., 2012). Segundo Kulatunga et al. (2006) do total da matéria prima utilizada anualmente no mundo, o setor da construção civil é responsável pelo consumo de 25% da madeira virgem e 40% da pedra bruta, cascalho e areia empregados. No Brasil, de acordo com dados do Anuário Mineral Brasileiro de 2010 a construção civil consome cerca de 80% da areia, 90% da argila, 90% da rocha britada e 95% da gipsita extraídas no país (DNPM, 2011).

Souza et al. (2004) relatam que a ineficiência de alguns dos seus processos de produção e principalmente suas grandes proporções tornam a indústria da construção civil uma grande geradora de resíduos dentro da cadeia produtiva. Cabe ressaltar que a disposição final destes resíduos é uma tarefa difícil, devido à heterogeneidade na composição, aos custos com transporte e disponibilidade de áreas que atendam aos requisitos ambientais.

Os impactos ambientais associados à disposição indevida dos resíduos gerados pela indústria da construção são preocupantes, sendo os principais apontados por Pinto e González (2005): degradação das áreas de manancial e de proteção permanente, proliferação de agentes transmissores de doenças, assoreamento de rios e córregos, obstrução dos sistemas de drenagem, tais como piscinões, galerias, sarjetas, etc., ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, com prejuízo à circulação de pessoas e veículos, além da própria degradação da paisagem urbana.

Em termos quantitativos, no cenário mundial os resíduos de construção surgem com elevada participação no total de resíduos sólidos. No continente europeu a Inglaterra estimou, em 2005, geração total de 88,63 milhões de toneladas de resíduos provenientes de construção, demolição e escavações (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT, 2007). Considerando que a população da Inglaterra em 2005 foi contabilizada em 50.431,700 habitantes¹ a geração anual per capita equivale a 1,76 toneladas.

¹ BARROW, M. **Project Britain**: British life & Culture. 2012. Disponível em: < <http://resources.woodlands-junior.kent.sch.uk/customs/questions/population.html> >. Acesso em: fev. de 2013.

Enquanto que, na Espanha, no ano de 2008 foi estimada a geração de 40 milhões de toneladas (MINISTRY OF ENVIRONMENT AND RURAL AND MARINE AFFAIRS, 2008), equivalendo à geração anual de 0,87 toneladas por habitante/ano, considerando a população da Espanha estimada em 46.063,511 de habitantes no mesmo ano².

Segundo Katz e Baum (2011), no ano de 2010 em Israel, a participação deste resíduo atingiu 60% do total de resíduos sólidos do país. Os autores relatam que houve aumento significativo nas duas últimas décadas e este é justificado pelo aumento do nível de vida, alterações nos hábitos de consumo, bem como o aumento natural da população. Já na China dados apontam participação percentual dos resíduos de construção de 30 a 40% do total de resíduos sólidos urbanos (WANG; JINGKUANG, 2012), e na Austrália estes equivalem a aproximadamente 37% do total de resíduos sólidos urbanos (TERRY, 2004).

No Brasil, os dados disponíveis mostram uma situação semelhante à dos países citados. Ainda um dado muito utilizado é o estimado por Pinto (1999) e expressa que os resíduos da construção e demolição representam entre 41% e 70% do total de resíduos sólidos urbanos, e conforme Pinto e González (2005) estes equivalem a duas vezes, em massa, a quantidade dos resíduos sólidos domiciliares.

No gráfico da Figura 1, Pinto e González (2005), demonstram que quanto à origem dos RCD, os maiores geradores são as reformas, ampliações e demolições, respondendo por 59 % do total de resíduo gerado. As construções novas, térreas ou de múltiplos pavimentos de médio e grande porte executadas por construtores ou empresas construtoras responsáveis por aproximadamente 21 % do total de RCD gerado.

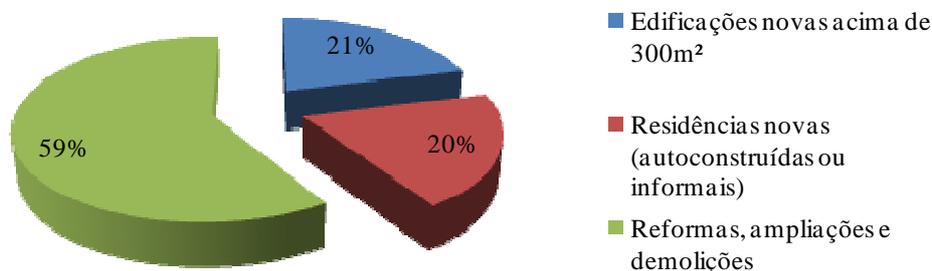


Figura 1 - Origem dos RCD em algumas cidades brasileiras (% em massa)

Fonte: Adaptado de Pinto e González (2005).

² ESPANHA. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Fev. de 2013. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Espanha>>. Acesso em: fev. de 2013.

Ainda Leal (2001) relata que entre 20% e 25% dos RCD das cidades brasileiras são gerados por empresas construtoras, sendo o restante proveniente de obras de autoconstrução, sobretudo reformas.

Embora a participação da indústria da construção em relação à totalidade dos RCD gerados no Brasil seja inferior à metade do total, tendo em vista os impactos que estes causam ao meio ambiente, buscar ações de prevenção pode ser entendida como uma atitude imprescindível por parte das empresas construtoras.

Pesquisas voltadas à geração de resíduos em construções novas no Brasil apontam taxa de geração na ordem de 150 kg/m² construído (PINTO, 1999), mais recentemente Mália, Brito e Bravo (2011), em levantamento de estudos existentes a nível mundial, estabeleceram taxa de geração de RCD no valor de 115 kg/m² construído para edificações residenciais novas com estrutura em concreto armado.

Diante da elevada taxa de geração de resíduos de construção e demolição e o grande volume que estes ocupam no meio ambiente, a necessidade de gerenciá-los de forma a atender a legislação nacional e reduzir os impactos causados são iminentes. No Brasil foi criada em 2002 a Resolução 307 do CONAMA que responsabiliza o gerador pelos resíduos e estabelece que este deva ter como objetivo principal a não geração de resíduos e secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos mesmos. Entretanto, o que se constata é que a exigência e fiscalização do cumprimento e adequação a esta Resolução até hoje não são efetivas, e esta realidade pode ser entendida como um reflexo da dificuldade e complexidade envolvida neste tema.

Como a própria legislação menciona, o objetivo principal de grandes e pequenos geradores deve ser a não geração de resíduos em seus processos, tendo em vista que a não geração dos mesmos ou ainda a redução da quantidade produzida ocasionará a redução do consumo de recursos naturais não renováveis e a minimização dos impactos causados pela disposição final dos resíduos gerados durante o processo de produção. Mattosinho e Pionório (2009) ressaltam a necessidade de ampliação das pesquisas com enfoque na minimização da geração de resíduos na fonte, ao observarem que a maioria dos estudos concentra-se em propor técnicas de reciclagem, agindo de forma corretiva e não atingindo a real causa do problema.

1.1 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho entende que o conhecimento da quantidade gerada de resíduos consiste no primeiro passo em direção aos esforços para a diminuição da geração dos resíduos, pois para a implantação de melhorias no processo produtivo é necessária a utilização de indicadores que permitam o estabelecimento de metas e controle.

Porém, a caracterização quantitativa dos resíduos gerados em obras ainda pode ser considerada como um desafio, embora diversos métodos de quantificação já tenham sido propostos por diferentes autores.

No Brasil, destacam-se os métodos propostos por Pinto (1999) para estimar a quantidade de resíduos gerada em municípios e observa-se que um grande número de trabalhos realizaram estimativas de RCD baseados nesse método, tais como os trabalhos de Sardá (2003), Marques e Fehr (2007), Bernardes et al. (2008), Oliveira et al. (2011) e Bronstrup et al. (2011) entre outros.

Também se destaca o estudo realizado por Formoso et al. (2002), que teve como objetivo investigar as principais causas de geração e quantificar perdas (dentro as quais os resíduos) em canteiros de obras. Em suma, esse trabalho concluiu que a maioria das empresas pesquisadas desconhecia a magnitude das perdas em seus canteiros, o que significa uma falta de transparência sobre o desempenho de seus sistemas de produção. A geração de resíduos durante a fase de produção de obras pode ter diferentes causas e origens, e são relacionadas ao projeto da edificação (tipologia, coordenação modular), sistema construtivo (racionalização), gerenciamento da produção (planejamento e controle da produção, gestão da qualidade), organização do canteiro e capacitação da mão de obra.

Conforme Osmani et al. (2011) a maior parte dos esforços têm sido voltados a gestão dos resíduos no canteiro, porém um investimento limitado é dedicado a prevenção da geração de resíduos de construção em pontos importantes como a cadeia de gestão, etapas de projeto, aquisição e encargos. A prevenção e a redução na geração de RCD é um ponto importante a ser estudado durante o planejamento e a produção dos edifícios. A antecipação por parte das empresas no intuito de alcançar uma gestão ótima dos resíduos é uma estratégia importante de melhoria dos seus processos de produção e conseqüente redução na geração de resíduos (SAÉZ et al., 2012).

A quantificação dos resíduos, geralmente expressa através de indicador ou índice, é uma informação gerencial de suma importância e pode ser empregada para diferentes

finalidades: demonstrar o desempenho atual de uma organização, servir de base ao controle de um processo em relação a um padrão estabelecido, basear o estabelecimento de metas ao longo de um processo de melhoria contínua, motivar as pessoas envolvidas no processo (Formoso et al., 1997), entre outros.

Neste contexto esta Dissertação de Mestrado foi realizada no âmbito de um convênio de pesquisa entre o Sindicato da Indústria da Construção de Novo Hamburgo (SINDUSCON-NH) e um grupo de pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) com o objetivo de desenvolver um modelo a ser utilizado por empresas construtoras para estimar a quantidade de resíduos gerada na produção de obras verticais, considerando o contexto local/regional e características de projeto e produção, a ser utilizado como parâmetro para implementação de ações voltadas à diminuição da geração de resíduos.

A realização desta investigação pode ser justificada segundo diferentes argumentos. Em primeiro lugar, contribui à pesquisa ao investigar a influência entre projeto do edifício e geração de resíduos durante a fase de execução da obra, relação pouco investigada pelos métodos quantitativos apresentados na bibliografia.

Em segundo lugar, o fato de limitar geograficamente as obras estudadas permite a realização de um diagnóstico da realidade local e atual. Essa informação pode ser útil aos geradores, no sentido de planejar ações voltadas à minimização da geração e também ser utilizada nos planos de gerenciamento de resíduos das obras, obrigatório pela Resolução 307/2002 do CONAMA. Em terceiro lugar, as informações do diagnóstico podem ser utilizadas para comparar a realidade local com outros cenários.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

A principal questão de pesquisa que norteia o trabalho consiste em:

“Quais são as principais variáveis, e como estas influenciam a geração de resíduos durante a fase de produção de obras residenciais verticais?”

Como desdobramento desta questão de pesquisa tem-se as seguintes questões de pesquisa secundárias:

“Qual a quantidade de RCD gerada nas diferentes etapas da fase de execução das obras residenciais construídas na região metropolitana de Porto Alegre?”

“Que características em termos de projeto, sistema construtivo e sistema de gestão as obras estudadas apresentam?”

“Qual a influência destas características na geração de RCD durante a fase de produção das obras?”

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste estudo consiste em propor um modelo para estimar a geração de resíduos durante o processo de produção de obras residenciais verticais a partir de características do projeto arquitetônico e sistema produtivo.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar como os resíduos gerados na produção de obras residenciais verticais são gerenciados por diferentes empresas construtoras.
- Analisar a influência de variáveis de projeto arquitetônico e sistema produtivo sobre a geração de resíduos.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro, a introdução descreve o panorama atual da geração de resíduos no setor de construção civil, a justificativa para a realização do trabalho, as questões de pesquisa e os objetivos. Também é apresentada a estrutura da pesquisa e as delimitações do trabalho.

O segundo capítulo consiste em revisão bibliográfica e aborda os resíduos gerados na produção de obras na construção: sistema de gestão de resíduos na construção e fatores que influenciam a geração de resíduos.

No terceiro capítulo é apresentado o método de pesquisa utilizado. É demonstrado o delineamento da pesquisa, assim como é descrita a realização das etapas de pesquisa.

O quarto capítulo apresenta, analisa e discute os resultados obtidos na realização da pesquisa. No quinto capítulo é apresentada a conclusão e são propostas sugestões para trabalhos futuros.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho utiliza como objeto de investigação os resíduos gerados na etapa de execução de obras residenciais verticais de dez empresas construtoras que atuam na região metropolitana de Porto Alegre/RS.

Os dados utilizados são de vinte obras concluídas entre 2008 e 2013, em termos de características de projeto e produção. A quantidade de resíduo gerado considerada para estas obras foi a informada pelas empresas construtoras e consiste no número de caçambas retiradas destas obras. Em função dos dados utilizados advirem dos registros das empresas e estas por sua vez não possuem discriminação do tipo de resíduo por classe, foram contabilizados todos os resíduos descartados em caçambas, que conforme a pesquisa de campo realizada são predominantemente Classe A e Classe B. Descartaram-se obras cujos dados se mostravam duvidosos ou imprecisos quanto à geração de resíduos, ou obras que declaradamente utilizaram significativas quantidades de resíduos para aterros nas obras ou em outros locais. Também não faz parte do escopo dos resíduos considerados, os gerados nas etapas de terraplenagem, pois sua retirada ocorre em caminhões de tamanhos diversos e muitas vezes este serviço é terceirizado, dificultando a obtenção de dados históricos de sua a quantificação.

2 OS RESÍDUOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE OBRAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos da construção civil (RCC), assim definidos pela Resolução 307/2002 do CONAMA, são habitualmente denominados pela bibliografia por RCD (resíduos de construção e demolição) e constituem-se dos resíduos 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).

Devido à grande quantidade em que são gerados, ao volume que ocupam, e à periculosidade à qual expõem o meio ambiente, os RCD são considerados um problema ambiental. Em grande parte das cidades brasileiras observa-se a deposição irregular dos mesmos, causando ocupação de vias, degradação da paisagem, transtornos à circulação de pedestres nos passeios públicos, obstrução dos sistemas de drenagem, assoreamento de rios e córregos além de contaminação da água, ar e solo pelos resíduos perigosos dispostos de maneira inadequada.

2.1 SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

Tendo em vista todos os aspectos relacionados à geração de RCD se faz extremamente necessário desenvolver ferramentas de gestão destes resíduos que possibilitem reduzir os impactos causados por eles. Dentre as principais variáveis que afetam a gestão de resíduos Yuan et al. (2012) citam a legislação governamental, técnicas de construção com baixo desperdício e construção de uma cultura voltada à gestão de resíduos nas empresas.

A política para a gestão de resíduos utilizada pelos países da União Europeia (é baseada na Diretiva de resíduos 2008/98/CE e destaca a importância de proteger o meio ambiente permitindo o crescimento sustentável das cidades através da aplicação de leis e códigos ambientais que valorizem o RCD como forma de incentivo a sua reutilização e reciclagem (MÁLIA, BRITO e BRAVO, 2011). Conforme mostra a Figura 2, essa diretiva tem como foco buscar a produção sem resíduos, e secundariamente sua reutilização, reciclagem, recuperação e por fim a destinação final adequada.

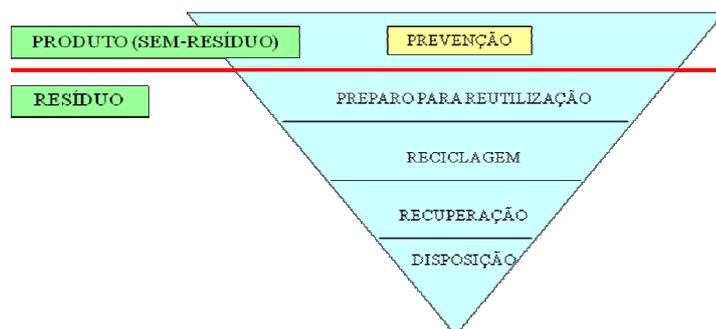


Figura 2 - A hierarquia da gestão de resíduos.

Fonte: Adaptado de Diretiva 2008/98/CE - Legislação e política de resíduos dos Estados Membros da União Europeia.

Como resultado de esforços realizados neste sentido, os dados de índice de reciclagem de resíduos de construção em alguns países europeus são animadores. Por exemplo, a Holanda, Dinamarca e Alemanha apresentam índices de reciclagem de resíduos de construção entre 50% e 90% (ÂNGULO, 2005). No Reino Unido a proporção de RCD reciclados chegou a 50% do total em 2003 enquanto que na Espanha e em Portugal a reciclagem de RCD atinge baixos índices, não alcançando os 10% na Espanha (MÁLIA, 2010).

O cenário do Brasil, no entanto, é muito diverso. A pesquisa realizada por Miranda, Ângulo e Careli (2009) apontam que todas as usinas brasileiras em operação ou em fase de instalação em 2008 atuando em sua capacidade total, a estimativa de reciclagem de RCD seria de apenas 3,6% da estimativa total de geração.

Uma importante iniciativa regulamentadora de gestão de RCD consiste na Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicada em 5 de julho de 2002 (Brasil, 2002). Mais recentemente, a Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujas premissas são a não geração, a minimização, a reciclagem. Estabelece ainda que a gestão integrada dos resíduos da construção civil, na forma de um Plano Integrado de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC), deva proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental. Todos os municípios deveriam, desde o ano de 2003, ter elaborado uma lei municipal própria para instituir o PIGRCC, mas, conforme Gehrke (2012), poucos a possuem.

A partir dessa Resolução, grandes geradores (empresas construtoras) passam a ser responsáveis pela implantação de programas de gerenciamento de resíduos da construção civil nos seus empreendimentos. Ao Poder Público municipal, cabe a fiscalização dos grandes

geradores e a solução para o RCD dos pequenos geradores, constituídos, na sua maioria, pelas construções autônomas.

Segundo Pinto (2008), em 1995, antes da publicação da Res. nº 307/2002 do CONAMA, apenas dois municípios contavam com iniciativas de planos de gerenciamento de RCC. Em 2008, o número passou para cerca de 50, com grande concentração na região Sudeste, especialmente no interior paulista e fluminense. A partir desse panorama, é possível reconhecer uma mudança no cenário, influenciada pela pressão da legislação aliada à crescente conscientização ambiental e social. Porém, tomando como referência o total de 5.565 municípios brasileiros (IBGE, 2010), conclui-se que o caminho a ser percorrido em prol da gestão do RCD ainda é longo.

2.1.1 Resolução CONAMA 307/2002

A Resolução 307/2002 do CONAMA trata especificamente dos resíduos de construção civil no Brasil. Surgiu a partir da necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais, através de diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, de utilizando-se ferramentas que viabilizam e orientam as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais associados à disposição indevida destes resíduos (CONAMA 307, 2002).

Um dos itens constantes na Resolução trata da classificação dos resíduos de acordo com suas características de reutilização e reciclabilidade. Este item já sofreu algumas alterações após o início da vigência da Lei através das resoluções nº 348 (16 de agosto de 2004) que “*altera a Resolução CONAMA nº 307/2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos*” e nº 431 (24 DE MAIO DE 2011) que “*altera o art. 3º da Resolução nº 307/2002 estabelecendo nova classificação para o gesso*”.

A classificação estabelecida por esta Resolução é a seguinte:

Classe A - São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados;

Classe B - Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

Classe C - Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D - Resíduos perigosos, tais como tintas, solventes, óleos, os provenientes de 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.

A Resolução 307/2002 do CONAMA responsabiliza o gerador pelos resíduos e proíbe a disposição indevida dos RCD. Para a implementação da gestão dos são propostos três instrumentos. O primeiro consiste no Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal). O segundo é o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e pelo Distrito Federal com objetivo de responsabilizar os pequenos geradores. Por fim, os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil que devem ser elaborados e implementados pelos grandes geradores.

Na Figura 3, observam-se os instrumentos propostos e seus respectivos responsáveis, possibilitando a realização de ações de todos os geradores no atendimento à legislação em busca da gestão correta dos resíduos de construção civil.



Figura 3 - Instrumentos para a Gestão de Resíduos de Construção conforme Resolução 307/2002 CONAMA.

A realização de ações antecedendo a geração do resíduo é um dos objetivos desta resolução. Os grandes geradores de resíduos são exigidos a apresentar documentação prévia ao início da execução através da elaboração e aprovação do PGRCC juntamente com o projeto do empreendimento ou, quando necessário, analisado de forma conjunta com o licenciamento ambiental do mesmo. O PGRCC é composto por um conjunto de etapas onde o gerador deve prever a caracterização, separação, acondicionamento, transporte e destinação adequados para os seus resíduos. Dentre estes itens cabe citar que um dos procedimentos iniciais para a sua elaboração é a caracterização do RCD através da identificação e quantificação prévia dos resíduos que serão gerados, destacando a importância de se obter um

histórico confiável dos resíduos gerados ao longo dos empreendimentos executados por estas empresas.

2.1.2 O desafio da quantificação do RCD

A quantificação do RCD pode ser entendida como primeiro passo para a gestão dos resíduos, pois permite um controle da geração e o estabelecimento de metas para a redução. No entanto, trata-se de uma atividade extremamente complexa, tendo em vista características próprias da indústria, do produto e do processo de produção na construção.

Conforme Oliveira (2008) os resíduos de construção e demolição possuem características bem peculiares devido aos diferentes sistemas e técnicas construtivas utilizadas e, em muitas empresas, um incipiente emprego de controle de qualidade no processo. Características como composição e quantidade produzida dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria da construção local, sendo assim importante diagnosticar localmente os RCD permitindo estimativas mais precisas da geração e identificação das principais causas possibilitando melhoria na gestão destes resíduos.

Os dados de estimativa de geração de resíduos devido aos diversos fatores envolvidos podem ter variações expressivas. Mañà I Reixach et al. (2000) em estimativa da geração de resíduos na Espanha relatam desvios significativos de até 35% em sua pesquisa, destacando a importância da elaboração de estudos específicos por parte das empresas.

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando identificar as principais causas da geração de resíduos de construção (Bossink e Brouwers (1996); Ekanayake e Ofori (2000); Osmani (2008); Yuan et al. (2012), além da verificação da composição e quantificação do volume gerado (Pinto (1999); Bernardes et al. (2008); Oliveira et al. (2011).

Tabela 1 - Valores referentes à geração total de RCD para construções novas em alguns países

Autor	Ano	País	Estimativa de resíduos pelo autor
Mañà I Reixach et al.	2000	Espanha	0,120 m ³ /m ²
Katz e Baum	2010	Israel	0,200 m ³ /m ²
Ortiz et al.	2010	Espanha	205,9 kg/m ²
Kharrufa	2007	Bagdá	2,15 toneladas para cada 10m ² construídos
Pinto	1999	Brasil	150 kg/m ²

A Tabela 1 apresenta a compilação de dados de estimativa de geração de RCD retirados de diversos estudos realizados em alguns países do mundo.

Quanto à densidade aparente dos RCD, pode ser citado o estudo sobre quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção e demolição no município de Pelotas/RS onde Tessaro, Sá e Scremin, (2012) obtiveram densidade aparente média dos RCD igual a 1,28 t/m³. Outro dado de densidade aparente de RCD encontrado foi o publicado por Pinto e González (2005), que atribui 1,2 toneladas por m³ de RCD. Couto Neto (2007) em estudo de caso em um edifício multipisos também encontrou densidade aparente dos RCD em 1,2 toneladas por m³ de resíduo.

2.1.3 Métodos de quantificação de RCD

Diferentes métodos e parâmetros de quantificação fundamentam as estimativas de geração de RCD em diversos trabalhos acadêmicos. Contudo, estes métodos foram desenvolvidos a partir de cenários com características específicas, que impactam diretamente a quantidade de resíduos: sistemas construtivos, sistemas de gestão das empresas, contratação e treinamento da mão de obra, entre outros. Portanto, a utilização das taxas de geração em cenários diferentes pode incorrer em resultados distorcidos.

A seguir é apresentado o método de quantificação de RCD proposto por Pinto (1999), tendo em vista ser um trabalho brasileiro de grande repercussão e por ter desencadeado uma série de aplicações deste método por outros pesquisadores. Na sequência, são apresentados os métodos de quantificação propostos por Katz; Baum (2010) em Israel, e Saéz et al. (2012) na Espanha.

2.1.3.1 Método de quantificação de RCD proposto por PINTO (1999)

No Brasil o trabalho realizado por Pinto (1999) teve grande importância e repercussão e desencadeou uma série de estudos posteriores. Nesta pesquisa onde é proposta metodologia para gestão dos RCD estabeleceu-se a soma de três indicadores: quantidade de resíduos oriundos de edificações novas, quantidade de resíduos provenientes de reformas, ampliações e demolições removidas de forma regular e quantidade de resíduos removidos de deposições irregulares pela municipalidade.

A estimativa da geração de resíduos em construções novas é feita através de levantamento dos registros de aprovação de projetos junto à prefeitura municipal com suas respectivas áreas construídas. Sobre o valor de área licenciada no município em um período específico é aplicado o indicador, que foi estabelecido através de levantamento de dados em

pesquisa em diversas regiões brasileiras, cujo valor obtido foi 150 kg/m². A aplicação deste método considera que é muito pequeno o percentual de projetos aprovados que não são levados à concretização.

Observa-se que um grande número de trabalhos realizaram estimativas de RCD baseados nesse método, tais como os trabalhos de Sardá (2003), Marques e Fehr (2007), Bernardes et al. (2008), Oliveira et al. (2011) e Bronstrup et al. (2011).

2.1.3.2 Método de quantificação de RCD proposto por KATZ; BAUM (2010)

Nesta pesquisa os autores propõem um modelo para prever o fluxo de resíduos na construção do início ao fim da fase de produção permitindo identificar a quantidade de resíduos e seus constituintes. Este trabalho foi desenvolvido a partir de estudo de caso em Israel envolvendo 10 obras de edifícios residenciais com área construída a partir de 5000 m², características típicas do país e em diferentes estágios de execução (já concluídos subsolos e fundações). Os estágios da construção foram classificados em: elementos estruturais, elementos estruturais e início de acabamentos (concomitantes) e acabamentos finais. A metodologia utilizada dividiu-se em três etapas: observação dos canteiros, amostragem e coleta de dados e desenvolvimento de um modelo empírico.

A pesquisa de campo ocorreu em um período de oito meses e consistiu em 2 observações por semana em cada obra, onde o observador coletava informações quanto ao volume total da caçamba coletora, o seu grau de enchimento, e o volume relativo (em percentagem) de uma lista de componentes de resíduos. Também foram realizados registros fotográficos de cada visita, bem como a identificação da fase da construção. Paralelo à pesquisa de campo foram coletadas informações de número de caçambas contratadas em cada obra a partir do departamento de contabilidade de cada empresa.

Os dados coletados serviram de base para o desenvolvimento de um modelo empírico de estimativa, com base estatística, de modo a produzir uma ferramenta que permite prever as quantidades de resíduos gerados na construção de novos edifícios residenciais em cada etapa de construção, auxiliando na avaliação do fluxo de resíduos. De acordo com este método, os pesquisadores concluíram que quantidades menores foram geradas durante as fases iniciais da construção e houve aumento significativo na fase final. Nas fases iniciais, grande parte dos resíduos é de material reciclável enquanto ao final da construção as quantidades totais de resíduos aumentam, porém a proporção do material reciclável diminui. O modelo desenvolvido pode ajudar os gestores no rastreamento das quantidades de resíduos

retiradas do local, proporcionando assim indicação de qualquer desperdício anormal no decorrer das atividades. A quantidade total de resíduos gerados durante a construção de edifícios residenciais foi estimada em $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (KATZ; BAUM, 2010).

2.1.3.3 Método de quantificação proposto por SAÉZ et al. (2012)

Os autores empregaram o método desenvolvido por Katz e Baum (2010) para quantificar o RCD gerado na construção de novos edifícios residenciais na Espanha. A pesquisa foi realizada em 5 etapas: identificação do edifício de construção tipicamente espanhola, caracterização dos projetos analisados; determinação das etapas de construção; cálculo dos resíduos gerados na execução das construções e desenvolvimento de um modelo empírico para predição das quantidades de resíduos em relação não só aos diferentes tipos de resíduos, mas também a fase de construção. Neste estudo materiais definidos no catálogo europeu de resíduos como solos e rochas não contaminados com substâncias perigosas foram excluídos, pois não são considerados como resíduos na Diretiva 2008/98/CE (SAÉZ et al., 2012).

A identificação da construção típica espanhola foi feita a partir de dados de publicações estatísticas nacionais onde foi observado que entre 2001 e 2005 houve predomínio na construção de novos edifícios residenciais.

As etapas de construção consideradas no estudo foram: terraplanagem e estrutura, paredes exteriores, internas e coberturas, molduras de esquadrias, sistema elétrico, de ar-condicionado, hidráulico, aquecimento, proteção contra incêndio, energia solar, elevadores, vidros, decoração e mobiliários urbanos.

O volume de resíduos gerados em cada uma das etapas foi baseado nas categorias estabelecidas no catálogo europeu de resíduos (EWC) para cada etapa da construção e no banco de dados do Instituto de Tecnologia da Catalunha, BEDEC - ITeC (2010) que fornece a quantificação, tanto em peso (kg) como em volume (m^3) e estes dados adaptados as treze etapas de construção propostas (SAÉZ et al., 2012).

Três indicadores foram determinados: indicador i_1 que permite a estimativa do volume do total de RCD gerado na construção; indicador i_2 que permite uma estimativa de cada tipo de RCD gerado no local e indicador i_3 que relaciona o volume (m^3) de RCD gerado por fase de construção para a superfície total construída (m^2).

Tabela 2 - Cálculo do indicador i_1

Indicador i_1		
Volume (m ³)	Superfície construída (m ²)	i_1 (m ³ /m ²)
1009,96	13546,50	$7,46 \times 10^{-02}$

Fonte: Adaptado de Saéz et al. (2012)

O indicador i_1 é um indicador global obtido a partir da multiplicação do indicador pela área total construída, relacionando a média de volume de resíduos totais gerados (m³), valor teórico baseado no banco de dados do BEDEC – ITeC (2010), e a área construída (m²), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 3- Cálculo do indicador i_2

Indicador i_2				
Tipo de RCD		Volume (m ³)	Superfície construída (m ²)	i_2 (m ³ /m ²)
EWC código	Especificação			
150101	Papel e papelão	66,02	13546,50	$4,87 \times 10^{-03}$
170101	Concreto	147,53		$1,09 \times 10^{-02}$
170103	Telhas e materiais cerâmicos	157,81		$1,16 \times 10^{-02}$
170107	Mistura de concreto, tijolos, telhas e materiais cerâmicos não contaminados	118,11		$8,72 \times 10^{-03}$
170201	Madeira	282,16		$2,08 \times 10^{-02}$
170203	Plástico	11,33		$8,36 \times 10^{-04}$
170407	Metais diversos	29,65		$2,19 \times 10^{-03}$
170904	Resíduos mistos sem mercúrio, materiais perigosos ou PCB	107,93		$7,97 \times 10^{-03}$
170903	Resíduos mistos contendo materiais perigosos	4,21		$3,11 \times 10^{-04}$
150110	Embalagens contaminadas com materiais perigosos	32,69		$2,41 \times 10^{-03}$

Fonte: Adaptado de Saéz et al. (2012)

O indicador i_2 relaciona o volume (m³) de cada categoria de RCD gerados no processo de construção para a área total construída (m²) conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 4 - Cálculo do indicador i_3

Etapa de construção	Descrição	Volume (m ³)	%	Superfície construída (m ²)	i_3 (m ³ /m ²)
1	Terraplanagem e estrutura	289,39	28,65%	13546,50	$2,38 \times 10^{-02}$
2	Paredes exteriores, divisórias internas e coberturas	465,05	46,05%		$3,22 \times 10^{-02}$
3	Moldura de janelas e portas	4,53	0,45%		$3,12 \times 10^{-04}$
4	Elétrico e comunicações	79,04	7,83%		$6,33 \times 10^{-03}$
5	Sistemas de ar-condicionado	0,09	0,01%		$2,12 \times 10^{-05}$
6	Sistemas hidráulicos	15,88	1,57%		$1,89 \times 10^{-03}$
7	Sistemas de aquecimento	104,76	10,37%		$2,76 \times 10^{-03}$
8	Sistemas de proteção contra incêndio	0,00	0,00%		$1,12 \times 10^{-06}$
9	Energia solar térmica	0,01	0,00%		$4,29 \times 10^{-06}$
10	Elevadores	23,13	2,29%		$1,24 \times 10^{-03}$
11	Vedações em vidro	0,63	0,06%		$5,65 \times 10^{-05}$
12	Decoração	25,24	2,50%		$1,69 \times 10^{-03}$
13	Jardinagem e mobiliário urbano	2,22	0,22%		$1,76 \times 10^{-04}$

Fonte: Adaptado de Saéz et al. (2012)

O indicador i_3 relaciona volume de RCD (m³) gerados por fase de construção para a área total construída (m²). Os resultados obtidos para este indicador são demonstrados na Tabela 4 e mostram que a fase 2 (paredes exteriores, divisórias internas e coberturas) é responsável por 46% do total de RCD e que a fase 1 (trabalhos de terra e estrutura), totalizam 29% do RCD previsto.

Com base em diagnósticos mais precisos e eficientes quanto à geração de RCD, observa-se que a tomada de ações para evitar ou reduzir a geração de resíduos deve ser a primeira iniciativa a ser tomada pelos agentes envolvidos, sendo necessário atuar em sua origem, que pode ter diferentes causas e ocorrer desde a etapa de desenvolvimento do produto (projeto) até a fase de execução da obra.

2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Parte de um conceito mais amplo, o resíduo é um tipo de perda. O elevado índice de perdas no setor da construção, nos quais são incluídos desperdícios e resíduos, é

considerado um dos principais desafios do setor, e se constitui em um agravante no consumo de materiais (FORMOSO et al., 2001).

As perdas têm origem nas diversas etapas do ciclo de vida do edifício. O desperdício pode ocorrer desde a fase de planejamento, por exemplo, ou por falha na otimização das estruturas a serem construídas. Durante a fase de projeto a definição de sistemas construtivos inadequados ou superdimensionamento das estruturas também podem causar desperdício ou retrabalho (JAQUES, 1998 apud JOHN, 2000).

Para Zordan (1997) e Pinto (1986) apud Ângulo (2000) no geral, a construção civil brasileira possui características artesanais, havendo ocorrência de perdas consideráveis de materiais e mão de obra devido, principalmente, a fatores como a baixa produtividade e mau gerenciamento.

Embora venham sendo observados esforços no desenvolvimento da gestão de processos por parte da indústria da construção civil a fim de melhorar a produção, especialmente nas últimas duas décadas, (ISATTO et al., 2000), a construção civil ainda é considerada atrasada em relação às indústrias de outros setores da economia. Falhas na seleção de métodos construtivos, trabalhadores mal treinados e negligências quanto à supervisão e gerenciamento dos projetos frequentemente observados são tidos como causas de desperdício de material e incremento nos custos das construções (SCHEER et al., 2007).

No entanto, para entender as causas da geração dos resíduos de construção é preciso entender as particularidades características do setor que as diferenciam das demais indústrias da cadeia produtiva.

Uma das principais diferenças que podem ser citadas é em relação ao local da produção: o processo de produção na indústria em geral ocorre em um local fixo, onde os diversos fluxos são estudados de maneira a aperfeiçoar os processos continuamente. Diferentemente dos demais setores, o processo de produção na construção civil ocorre em instalações temporárias executadas com o fim de viabilizar a execução do edifício em questão, o canteiro de obras.

Ferro (1982) apud Fabrício (2002) ressalta essa característica da construção quanto ao local de produção, onde o local de produção muda a cada novo produto, à medida que o edifício (produto) é fixo. Para Koskela (2000) a organização temporária em canteiros, com diferentes equipes e diferentes metas dificultando as interfaces interorganizacionais e

comprometendo assim os fluxos. Além disso, a produtividade das tarefas manuais é afetada por problemas relacionados à disponibilidade de espaço e conclusão de tarefas anteriores.

Ainda, Koskela (2000) cita como peculiaridades da indústria da construção: o produto único, ou seja, o edifício realizado é o próprio protótipo do produto impedindo a análise prévia das interações e otimizações de projeto e produção; elevada variabilidade no fluxo de recursos (falta de detalhamentos, erros no projeto ou em peças pré-fabricadas); exposição a variações climáticas (temperaturas extremas, chuvas e etc.); características de

Fabrizio (2002) destaca a evolução na especialização, mecanização e organização das linhas de produção na indústria de bens de consumo enquanto que na construção civil é observado um processo produtivo manufatureiro e de intensa atividade de mão de obra.

2.2.1 O processo de projeto e a geração de resíduos

A etapa de projeto é que mais influencia os demais processos e o resultado final de um empreendimento, segundo Tzortzopoulos (1999). Essa influência ocorre em termos de construtibilidade (facilidade de construção), qualidade do produto, custo, entre outros. Conforme Fabrizio (2002), o processo de projeto pode ser considerado o estágio mais estratégico do empreendimento com relação à definição de gastos de produção e a aumento da qualidade do produto final.

Embora os resíduos só apareçam ao início da construção estes já começam a ocorrer nas decisões tomadas durante a fase de concepção e projeto (MÁLIA, 2010). De acordo com Osmani et al. (2011), uma parte significativa dos resíduos é causada por problemas que ocorrem em etapas que precedem a produção, e a fase de concepção e projeto é considerada uma das fontes mais importantes de resíduos de construção.

O processo de projeto é abrangente e complexo devido aos diversos aspectos envolvidos. Com o aumento da complexidade nos projetos da atualidade (instalações, legislação, certificações, entre outros) ocorre aumento da demanda por equipes de projeto maiores e com conhecimentos mais especializados e requer colaboração mútua entre os participantes atuando de forma multidisciplinar (FABRÍCIO, 2002). Conforme Lima (2005) para a compatibilização das partes ligadas ao processo, é oportuna a implementação de uma metodologia de elaboração de projeto e gestão que considere as possibilidades tecnológicas e suas interfaces, buscando utilizar dados da experiência real da obra visando reduzir custos e auxiliar na definição das soluções tecnológicas e especificações.

Neste sentido, durante a execução dos diversos projetos (arquitetônico, estrutural, instalações e outros) envolvidos na construção de um edifício, Costa (1999) destaca que por estas ocorrerem em simultaneidade e serem de responsabilidade de diferentes profissionais surgem dificuldades que poderiam ser evitadas durante o processo de projeto através de melhoria na comunicação entre os colaboradores evitando assim soluções indesejáveis, grande número de pedidos de alterações, falta de inovação, perdas, entre outros problemas.

Diversos autores têm constatado a influência que decisões tomadas durante a fase de projeto possuem sobre a geração de resíduos durante a execução de edificações (FORMOSO et al., 1999 e SOUZA; DEANA, 2007; OSMANI, 2008; BOEHM, 2012). Innes (2004) apud Osmani (2006) estimou que 33% dos resíduos gerados no canteiro devem-se a falha dos projetistas em propor medidas de redução de resíduos durante a fase de concepção.

A falta de planejamento ou o planejamento inadequado do projeto é uma das causas de desperdícios e retrabalhos nas construções. Relacionadas a falhas na especificação do produto, estas costumam ser causadas pela falta de conhecimento das necessidades dos clientes, atraso na contratação dos projetos complementares e o estudo insuficiente dos métodos construtivos a serem utilizados ocasionando baixa produtividade além de atraso na entrega do produto (MANZIONE; MELHADO, 2007).

As principais causas de geração de perdas originadas no projeto arquitetônico são estudadas por diversos autores e os mesmos afirmam diferentes atividades de projetos como causa. Dentre as quais Bossink e Brouwers (1996); Ekanayake e Ofori (2000) apud Mália (2010) e Osmani (2008) citam: contratos incompletos no início do projeto, falta de atenção na coordenação dimensional dos produtos, alterações realizadas no projeto durante o decorrer da produção, falta de atenção a tamanhos padrão de componentes e insumos existentes no mercado, falta de conhecimento do arquiteto quanto a produtos alternativos, falta de informação nos desenhos, escolha de produtos de baixa qualidade, comunicação de exigências de última hora por parte do cliente.

Souza e Deana (2007) citam que, a falta de modulação, por exemplo é uma situação que obriga a quebra de peças para a adequação geométrica, onde estas ao sofrerem recortes muitas vezes se tornam resíduos, algo que poderia ser evitado a partir de ações de prevenção.

Projetos imprecisos, especificações incompletas de materiais e procedimentos são causas de muitas decisões de projeto tomadas durante a etapa de produção (FARAH, 1992

apud KERN, 2005). Estas alterações podem gerar retrabalhos na produção e estes podem envolver custos elevados e interferirem na dinâmica da obra (BERTELSEN; KOSKELA, 2002). Nesse sentido, Bossink e Brouwers (1996) e Faniran e Caban (1998) destacam as alterações de projeto que ocorrem durante a etapa de execução da construção como uma das principais origem de resíduos gerados nas obras.

Decisões tomadas durante a etapa de concepção do edifício também exercem grande influência no consumo de materiais da obra a ser produzida, devido à forma arquitetônica, por exemplo. Na Figura 4 observam-se duas plantas de mesma área construída ($A1 = A2$), porém o projeto com conformação mais alongada resulta em maior área de fachada (pois o perímetro é maior: $P2 > P1$), produzindo aumento da demanda de revestimento de fachada por unidade de área construída devido a maior extensão a ser revestida externamente (SOUZA; DEANA, 2007).

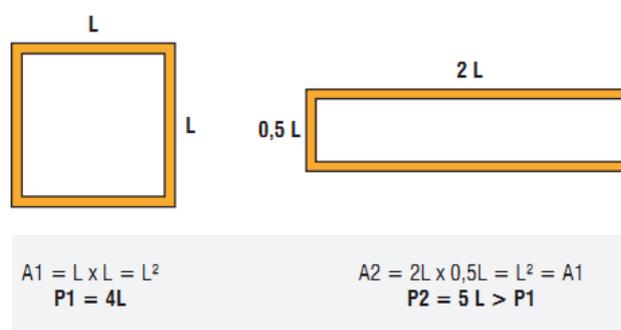


Figura 4 - Projeto com diferentes conformações (A1- forma quadrada e A2- forma retangular).

Fonte: Souza e Deana (2007)

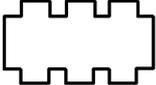
No exemplo apresentado ao haver a necessidade de maior área de revestimento observa-se o risco iminente de aumento na geração de resíduos de argamassa devido ao incremento de tarefas de manufatura, de transporte e consumo de maior quantidade de materiais (SOUZA; DEANA, 2007).

Em relação à forma do edifício, Mascaró (2010) propõe um índice que representa numericamente o grau de compacidade do edifício, denominado índice de compacidade conceituado como “a relação percentual que existe entre o perímetro de um círculo de igual área do projeto e o perímetro das paredes exteriores do projeto”, e estabelece uma relação de custo direto (materiais, equipamentos e mão de obra) com a compacidade (forma) do edifício. Assim, uma relação que pode ser estabelecida é a compacidade do projeto (forma) *versus* geração de resíduos, tendo em vista o maior ou menor consumo de materiais. Posteriormente o autor propôs uma atualização desse índice, passando a denomina-lo de Índice econômico de

compacidade (IeC), considerando o número de arestas e a presença de curvas nas paredes externas.

Por exemplo, sem considerar arestas e curvas o quadrado simples atinge índice de compacidade de 88,5%. Porém na prática dificilmente os projetos se aproximam deste valor. A relação estabelecida por este índice indica que quanto mais próximo deste número menores serão os custos das construções conforme se observa na Tabela 5.

Tabela 5- Variação do custo de construção em função do índice de compacidade do edifício

Forma da planta	Área (índice)	Índice de compacidade em %	Custo de construção (libras/m ²)	Variações de custo (%)
	100	88,5	90	100
	100	49,2	108	114
	199	34,0	112	124

Fonte: Adaptado de Mascará (2010)

Sabendo-se que arestas e curvas nas fachadas implicam em aumento nos custos buscou-se trabalhar com o IeC - Índice Econômico de Compacidade, que incorpora arestas e planos curvos no cálculo através de incremento no perímetro (MASCARÓ, 2010).

A Equação 1 apresenta o IeC e a Equação 2 apresenta o perímetro econômico do projeto, utilizado na equação do IeC.

$$Iec = \frac{2\sqrt{Ap \cdot \pi}}{Pep} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

IeC = índice econômico de compacidade

Ap = superfície de projeto

Pep = perímetro econômico de projeto

$$Pep = Ppr + 1,5Ppc + \frac{nA}{2} \quad \text{Equação 2}$$

Ppr = perímetro das paredes exteriores retas

Ppc = perímetro das paredes exteriores curvas

nA = número e arestas das fachadas

As relações geométricas e suas possíveis implicações vêm sendo estudadas por diversos autores, dentre eles pode ser citado o trabalho de Schneck (2013) que buscou identificar as relações entre os impactos da energia incorporada e as emissões de CO₂ a partir da variação do IeC.

Frente à tamanha influência do processo de projeto na geração de resíduos em uma construção, a busca por identificar e propor soluções que otimizem a geração se torna alvo importante de pesquisa.

Ações de projeto que podem auxiliar na minimização de resíduos envolvem estudar as possibilidades de desperdício num primeiro momento de maneira a identificar e compreender as implicações do projeto e do uso de determinados produtos na geração de resíduos. O incentivo e a implementação de boas práticas por parte da indústria são fatores essenciais para evolução da prevenção à geração. Utilização de materiais reciclados e recuperados, projeto que tenham por objetivo a desconstrução, a racionalização e pré-fabricação são alternativas de minimização de resíduos de construção que permitem a melhoria do desempenho ambiental da indústria da construção (BOEHM, 2012).

Aspectos de qualidade e produtividade devem ser alvo das empresas de construção, onde a aproximação do setor de projetos com o setor da produção e o alinhamento dos objetivos dos agentes envolvidos permitem a melhoria no processo de projeto. Expectativas de soluções de projeto baseadas na redução das perdas podem ser empregadas a partir de indicadores de perdas/consumo associados à solução de projeto adotada permitindo a gestão da melhoria do processo de projeto (ESPÍRITO SANTO, 2008).

Partindo da identificação de algumas das principais causas da geração de RCD Keys e Baldwin (2000) relacionam métodos (metodologias) de projeto que permitem “projetar sem resíduos” onde o foco na redução dos resíduos pode ser a curto e longo prazo. Como exemplos, os autores citam o emprego de pré-fabricação e pré-fabricação fora do local, a realização de projeto dos componentes / sob medida padrão, volume e especificação de tamanhos práticos de componentes. Além disso, minimizar uso de estruturas temporárias, otimizar a vida de projeto, especificar durante a concepção a utilização de materiais reciclados, projetar visando a reciclagem e facilidade de desmontagem, buscar identificar e evitar materiais de construção que geram resíduos, e buscar melhoria do processo de projeto em termos de comunicação entre projetistas.

Boehm (2012) também apresenta algumas atitudes de projeto que possibilitam prevenção da geração, sendo elas: redução no consumo de materiais através da elaboração de projetos com estruturas simples proporcionando menos cortes do que em um projeto complexo com diversos recortes; aproveitamento e recuperação de materiais; concepção de estruturas visando a sua desconstrução para que ao final da vida útil do edifício seus materiais e componentes possam ser facilmente removidos para reutilização ou reciclagem; elaboração de layouts atendendo as dimensões de materiais manufaturados e componentes que serão utilizados de maneira a reduzir cortes no local, ajustes na padronização de materiais para atender ao projeto; projetar para uso preferencial de unidades pré-fabricadas pode reduzir ou até eliminar o corte de materiais.

Neste sentido, a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura – ASBEA- indica como um dos pontos básicos para uma construção sustentável, a realização de projetos utilizando técnicas que permitam uma construção mais econômica, menos poluente e que impacte de forma menos agressiva o meio ambiente buscando planejar toda a obra e futura operação do edifício procurando minimizar a geração de resíduos.

Fraga (2006) relata a importância do aprimoramento dos projetos e do sistema de produção da indústria da construção civil, onde os projetos em sua maioria fornecem apenas informações básicas (formas, dimensões, etc.), não fornecendo detalhes de execução e orientações quanto às sequências de execução. A falta de integração entre os projetos e esclarecimento de características e interfaces do processo prejudica tanto a construtibilidade dos projetos como a qualidade das próprias edificações.

Conforme Osmani (2008) os projetistas podem expandir sua influência atuando de maneira a entender os problemas, dificuldades e oportunidades relacionadas à prevenção de resíduos desenvolvendo meios práticos de minimização dos resíduos durante as etapas de projeto.

2.2.2 O processo de produção e a geração de resíduos

Durante a etapa de produção do edifício podem ser verificadas várias possíveis fontes de perdas. Agopyan et al. (2003) enumeram algumas situações propícias à ocorrência de resíduos, tais como: o recebimento e a estocagem inadequada de materiais, que ficam sujeitos à quebra; transporte do concreto por trajetos ou em equipamentos inadequados podendo este cair pelo caminho; o processo tradicional de aplicação de gesso que devido ao seu rápido endurecimento pode ocasionar a perda de grande quantidade de material e perda

durante o transporte e aplicação de argamassa de revestimento (material que cai no chão e não é reaproveitado).

Spoto; Otero e Campolina (2001) identificaram em seu estudo falta de planejamento dos serviços por parte de algumas empresas, o que ocasionou, durante a execução dos serviços de instalações, retrabalhos de alvenaria que elevaram a perda de blocos cerâmicos. Pode-se citar também o mau uso dos equipamentos de transporte destes blocos que ocasionaram perdas em função de seu manuseio incorreto.

A capacitação dos colaboradores para a execução do sistema construtivo adotado é um fator importante, pois implica diretamente na qualidade do serviço prestado de forma a minimizar a geração de resíduos, visto a ocorrência de menos erros (BLUMENSCHNEIN, 2007). Em relação ao grau de instrução da mão de obra, considerando trabalhadores formais brasileiros, Sesi (2005) relata que dentre os trabalhadores da construção civil 53,8% possuíam o ensino fundamental incompleto ou eram analfabetos.

Entretanto Formoso et al. (2002) ressaltam que mesmo havendo necessidade de aprimoramento no treinamento da mão de obra os resultados obtidos em sua pesquisa não demonstraram evidências fortes de que a falta de qualificação dos trabalhadores tenha sido uma das principais causas de desperdício de material nas construções estudadas, sendo o desperdício resultado de uma combinação de fatores e sua origem não pode ser atribuída a um fator isolado.

Frente à grande quantidade de desperdício que ocorre durante o processo produção das edificações Lima (2005) e Gehlen (2008) salientam a importância da compatibilização de projetos durante as etapas que precedem a execução a fim de identificar as possíveis falhas antes que estas ocorram, evitando também a paralisação das atividades e devido à intercorrências que poderiam ter sido evitadas.

Conforme Lantelme e Formoso (2003) as medições propostas por modelos de gestão em geral podem: permitir a verificação do desempenho do processo de maneira a identificar problemas e auxiliar a priorização de ações de melhoria; controlar os processos a partir de padrões de desempenho previamente estabelecidos (que podem ser definidos a partir do controle e registros de informações) permitindo a elaboração de ações corretivas para solução dos problemas identificados.

Questões relacionadas ao planejamento da produção e gestão do canteiro por parte dos gerentes e a falta de transparência nos processos afetam a geração de resíduos. Como

principais causas podem ser citados falha na otimização dos recursos durante a execução, e falhas no sistema de aquisição, planejamento de entrega e distribuição de materiais (FORMOSO et al.; 2002 OSMANI, 2008).

No Brasil, um importante e amplo estudo sobre perdas geradas em canteiros de obras foi realizado por um grupo de pesquisadores, com o objetivo investigar as principais causas de geração de perdas assim como quantificar as perdas na Indústria da Construção Brasileira. Foram consideradas perdas neste estudo, recursos materiais, mão de obra e tempo de utilização de equipamentos, em atividades que geram custos diretos ou indiretos, mas não acrescentam qualquer valor para o produto final do ponto de vista do cliente. O estudo foi conduzido em duas partes, sendo a primeira realizada no Rio Grande do Sul, envolvendo sete materiais de construção em cinco diferentes canteiros. A segunda parte envolveu o monitoramento de 18 materiais de construção em 69 canteiros de obras, com a participação de acadêmicos de 15 Universidades Brasileiras, nos anos de 1996 a 1998 (FORMOSO et al., 2002).

No primeiro estudo, com objetivo de caracterização local, os materiais selecionados para observação foram os seguintes: aço, concreto usinado, cimento, areia e argamassa de cal, blocos cerâmicos e tijolos cerâmicos. O monitoramento ocorreu em 5 obras de características semelhantes na cidade de Porto Alegre e durante um período que variou de 4 a 5 meses. Diversas informações foram coletadas, dentre elas podem ser citadas: medições de trabalhos concluídos, controle de entregas e retiradas de materiais além de observação da descarga, transporte e condições de armazenamento dos mesmos, observação dos processos de produção e medição das dimensões finais dos componentes de construção.

No segundo estudo, mais amplo e abrangendo diferentes regiões do país, resíduos dos seguintes materiais foram investigados: aço, concreto usinado, areia, brita, cimento, argamassa pré-misturada, cal, solo, blocos e tijolos, tubulações elétricas, fios elétricos, tubulações hidráulicas e de esgoto, cerâmica, gesso, pintura e carpete. Foi feita descrição de todos os canteiros estudados e coletadas informações como: mensuração de inventários, medição do trabalho concluído, controle do fluxo de materiais, observação da descarga de material, transporte e armazenamento, processo de produção e estabelecimento de indicadores de desempenho (FORMOSO et al., 2002).

Os resultados de ambos os estudos indicaram um nível elevado de desperdício e revelou que grande parte destes resíduos é previsível e evitável. Em avaliação sobre as fontes de resíduos foi identificado que as atividades de fluxo, como a entrega de material, estoques e

manuseio e transporte interno, têm grande influência nos resíduos e estas muitas vezes são negligenciadas pela administração do canteiro. Problemas de gestão em fases que precedem a produção foram relacionados entre as causas mais importantes de resíduos. Foram propostas algumas estratégias gerais para a redução de resíduos como a melhoria da capacidade de gestão das empresas no projeto, aquisição e etapas de produção, melhorias do sistema de controle de resíduos por parte das empresas precisam ser implantadas de maneira a tornar os resíduos mais evidentes facilitando o seu controle (FORMOSO et al., 2002).

Blumenschein (2007) considera a necessidade de dois tipos de projeto: do produto e da produção. O projeto do produto composto pelo arquitetônico, instalações, estrutura e especiais, onde é salientada a indicação pela utilização de racionalização buscando padronizar medidas e utilizando componentes pré-fabricados. Enquanto que no projeto da produção, questões como recebimento de material, incluindo embalagem e armazenamento no canteiro, transporte (vertical e horizontal) e fluxo de materiais no canteiro são essenciais. Ambos podem evitar os problemas que causam a geração de RCD nas obras, relatados pelos autores supracitados.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa utilizada foi o estudo de caso, que, de acordo com Yin (2001) consiste numa visão empírica de um fenômeno dentro de seu contexto, onde o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e essencialmente busca resolver as questões relacionadas à “como” e “porque” os eventos ocorrem.

Ainda, segundo Gil (2002), a estratégia do estudo de caso pode ter diferentes objetivos: explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos, preservar o caráter unitário do objeto estudado, descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação, formular hipóteses ou desenvolver teorias e explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos.

A realização desta pesquisa constitui em um estudo de casos múltiplos, a partir de fontes de evidências quantitativas e qualitativas observadas em obras de diferentes empresas. Como ferramenta de análise foi utilizada a estatística, empregando para o tratamento dos dados a técnica de regressão linear múltipla. A equação de regressão é útil para explicar valores de uma variável em função de outras, isto é quando se suspeita de uma relação de causa e efeito entre duas ou mais variáveis, a análise de regressão permite verificar qual relacionamento matemático pode existir entre elas (STEVENSON, 2001).

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho foi realizado em três etapas de pesquisa, denominadas “estudo piloto”, “levantamento de dados” e “tratamento de dados”, cujos objetivos, questões de pesquisa e resultados parciais são demonstrados na Figura 5, que apresenta o delineamento da pesquisa.

Objetivo Geral: propor um modelo para estimar a geração de resíduos durante o processo de produção de obras residenciais verticais a partir de características do projeto arquitetônico e sistema produtivo			
Etapas	Objetivos específicos	Questões de pesquisa	Resultados
Estudo piloto	Analisar a geração de resíduos em diferentes construtoras.	“Como as empresas construtoras gerenciam o resíduo gerado nas obras?”	Contextualização dos pesquisadores quanto às práticas de gerenciamento de resíduos pelas
Levantamento de dados	Analisar variáveis de projeto arquitetônico e sistema produtivo.	“Qual a quantidade de RCD gerada nas obras?” “Que características em termos de projeto e sistema de produção as obras estudadas apresentam?”	Banco de dados com volume de resíduo gerado e parâmetros de projeto e produção das obras.
Tratamento dos dados		“Como as características de projeto e do sistema produtivo influenciam a geração resíduos das obras?”	Modelo de estimativa

Figura 5 - Delineamento da pesquisa

3.2 ETAPAS DE PESQUISA

A seguir é descrita a realização das três etapas da pesquisa.

3.2.1 Estudo piloto

A título de contextualização do trabalho, a primeira etapa do trabalho consistiu num estudo piloto com o objetivo de analisar como os resíduos gerados durante a obra são gerenciados pelas empresas construtoras, e basear os dados que deveriam ser coletados nas etapas seguintes do trabalho.

Essa etapa teve duração de três meses, e envolveu a realização de visitas a 11 obras na cidade de Novo Hamburgo/RS, denominadas de 1_p a 11_p de 4 empresas construtoras, denominadas A_p, B_p, C_p e D_p conforme descrição que encontra-se na Tabela 6.

A Tabela 7 mostra as principais características das obras visitadas durante o estudo piloto, em termos de empresa, nº de pavimentos, área do pavimento tipo, área total, e etapa de execução no início da realização do trabalho.

Tabela 7 - Identificação das obras acompanhadas em Novo Hamburgo/RS no estudo piloto

Obra	Empresa	Nº pav.	Área pav. Tipo	Área total	Etapa de execução
1 _p	A _p	22	382,44	11291,78	Estrutura
2 _p	B _p	8	509,16	4562,17	Infraestrutura
3 _p	C _p	23	509,23	14297,00	Acabamento
4 _p	D _p	12	246,78	3988,96	Estrutura e alvenaria
5 _p	C _p	27	392,96	16612,72	Estrutura e alvenaria
6 _p	B _p	12	360,65	5776,96	Acabamento
7 _p	C _p	20	248,79	6858,78	Estrutura
8 _p	C _p	18	278,26	7409,78	Estrutura e início alvenarias
9 _p	C _p	21	321,90	7994,53	Acabamento
10 _p	C _p	20	357,25	9106,02	Acabamento
11 _p	B _p	13	351,83	6155,86	Estrutura e alvenaria

Nas visitas realizadas durante o estudo piloto foram levantados dados de características destes edifícios tais como: informações sobre o sistema construtivo, etapa de execução atual, presença de programas de qualidade na empresa, terceirização de mão de obra, práticas de gestão de resíduos, emprego de pré-fabricação de sistemas e estruturas, prática de personalização de apartamentos, presença de caçamba estacionária na obra, volume das caçambas estacionárias e nome das empresas que coletam o RCD.

Além das visitas aos canteiros, buscou-se informação sobre a exigência de projetos de gerenciamento de resíduos pela Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo, e como as empresas estão realizando esses projetos.

3.2.2 Levantamento de dados

Os objetivos desta etapa do trabalho foram obter dados de geração de RCD na produção de edifícios e identificar as possíveis causas da geração destes resíduos, a fim de posteriormente verificar o grau de influência das variáveis relacionadas ao projeto (definidas na revisão de literatura) e variáveis relacionadas a produção (definidas no estudo piloto), consideradas durante as observações através do tratamento estatístico dos dados.

Após a realização do estudo piloto partiu-se para a etapa de levantamento de dados de geração de resíduos de um número maior de obras. Tendo em vista este trabalho ser realizado no âmbito de um convênio de pesquisa firmado com o SINDUSCON da cidade de Novo Hamburgo, num primeiro momento trabalhou-se com o objetivo de realizar o estudo apenas com dados de empresas filiadas a este sindicato, tendo em vista o interesse do sindicato e a facilidade de acesso a essas empresas.

Como as obras de construção têm um longo prazo de produção, e essas não estariam concluídas durante o prazo de realização desta Dissertação, optou-se por trabalhar com dados de obras que tenham sido concluídas num período de cinco anos, entre os anos de 2008 e 2013.

Porém, das quatro empresas envolvidas no estudo piloto, apenas uma empresa declarou ter este controle e outra estava iniciando o controle dos resíduos a partir das obras em execução atualmente. As duas empresas restantes declararam não possuir controle do número de caçambas retiradas de suas obras. Provavelmente, em alguns casos, essas empresas poderiam ter notas fiscais de transporte de resíduos armazenadas em arquivos físicos, porém aparentemente esse dado não era confiável, além de ser dispendioso para a empresa disponibilizar pessoas para investigar tal informação.

Na cidade de Novo Hamburgo foram fornecidos dados históricos por duas empresas, em um total de cinco obras executadas. Destas cinco obras, três obras estiveram em acompanhamento no estudo piloto, obras 1_p, 2_p e 7_p (Tabela 7) e foram concluídas entre dezembro de 2012 e julho de 2013.

Devido à falta de dados históricos de geração de RCD de obras com essas características por parte das empresas de Novo Hamburgo, decidiu-se então aumentar a área de estudo para a região metropolitana de Porto Alegre/RS, onde está incluído o Vale dos Sinos. Encaminhou-se convite para 28 empresas construtoras, sendo que deste total, 8 empresas se dispuseram a participar. A principal justificativa para não aceitar o convite à participação na pesquisa foi a falta de registros históricos dos resíduos gerados em obras concluídas, ou ainda dificuldade em acessá-los em arquivos. Também foi alegado falta de interesse em fornecer dados considerados por algumas empresas como de cunho particular.

Com as empresas dispostas a participar do estudo foi realizado um contato inicial por telefone, seguido por convite formal através de e-mail. Também foram realizadas visitas a estas empresas para esclarecimento do trabalho e dos objetivos propostos.

Tabela 8 - Percentual de participação das empresas em nº de amostras (obras)

Identificação empresa	Nº de obras	Percentual de participação da empresa em número de amostras
A	4	20%
B	1	5%
C	2	10%
D	2	10%
E	1	5%
F	2	10%
G	5	25%
H	1	5%
I	1	5%
J	1	5%
Total	20	100%

Num total, obtiveram-se dados de geração de RCD de vinte obras de dez empresas construtoras que atuam nas cidades de Novo Hamburgo, São Leopoldo, Esteio, Canoas e Porto Alegre, sendo o percentual de participação de cada empresa em número de amostras (obras) apresentado na Tabela 8. A partir dessa etapa, as empresas são denominadas por letras, de A a J.

Cabe comentar que para as dez empresas, ao menos um canteiro de uma obra em andamento foi visitado pelos pesquisadores para verificar *in loco* práticas de gestão, organização de canteiro e processo construtivo, empregados por essas construtoras.

Tabela 9 - Descrição empresas participantes do levantamento de dados

Empresa	Tempo de atuação	Segmento	Produção
A	65 anos	Edifícios residenciais e comerciais ¹	252008 m ²
B	33 anos	Edifícios residenciais	35 edifícios
C	33 anos	Edifícios residenciais, condomínios horizontais e outros	150729 m ²
D	17 anos	Edifícios residenciais	8 edifícios
E	25 anos	Edifícios residenciais e outros	5.000,00 m ²
F	29 anos	Edifícios residenciais	2500 apartamentos
G	51 anos	Edifícios residenciais e comerciais	1.200.000 m ²
H	7 anos	Edifícios residenciais e outros	9000 m ²
I	32 anos	Edifícios residenciais, condomínios horizontais e outros	590000 m ²
J	20 anos	Edifícios residenciais	223962 m ²

¹ Área construída contabilizada a partir de 1979

A Tabela 9 apresenta uma breve descrição das empresas participantes da etapa de levantamento de dados. Observa-se que os dados de produção disponibilizados pelas empresas diferem em unidades de medida, como é o caso da Empresa B que não possui um controle histórico de área construída e forneceu apenas o número de edifícios concluídos desde o início de suas atividades. O mesmo ocorre com a Empresa F que disponibilizou o número de unidades de apartamentos concluídos.

Frente aos dados apresentados na Tabela 9 é possível constatar que grande parte das empresas possui tempo considerável de atuação no segmento e diversos empreendimentos concluídos demonstrando que a maior parte delas já está consolidada no mercado.

Tabela 10 - Identificação das obras estudadas

ID (obra)	Empresa	Nº pavimentos	Número de prédios no lote	Estrutura	Vedação	Cidade
1	A	21	1	Concreto armado	Blocos cerâmicos	Novo Hamburgo
2	A	23	1	Concreto armado	Blocos cerâmicos	Novo Hamburgo
3	A	18	1	Concreto armado	Tijolos	Novo Hamburgo
4	A	20	1	Concreto armado	Tijolos	Novo Hamburgo
5	B	12	1	Concreto armado	Tijolos	Novo Hamburgo
6	C	7	1	Concreto armado	Blocos cerâmicos	Canoas
7	C	7	1	Alvenaria estrutural		Canoas
8	D	13	1	Concreto armado	Tijolos retificados	Esteio
9	D	12	1	Concreto armado	Tijolos retificados	Esteio
10	F	17	1	Concreto armado	Tijolos	Porto Alegre
11	F	16	1	Concreto armado	Tijolos	Porto Alegre
12	G	17	2 (plantas idênticas)	Concreto armado	Blocos cerâmicos (com proj. de paginação)	Porto Alegre
13	G	13	2 (plantas idênticas)	Concreto armado	Blocos cerâmicos (com proj. de paginação)	Porto Alegre
14	G	17	2 (plantas diferentes)	Concreto armado	Blocos cerâmicos (com proj. de paginação)	Canoas
15	G	15	2 (plantas idênticas)	Concreto armado	Blocos cerâmicos (com proj. de paginação)	Porto Alegre
16	G	19 + 4	1 + 1(estacionamento)	Concreto armado	Blocos cerâmicos (com proj. de paginação)	Porto Alegre
17	H	11	1	Concreto armado	Blocos cerâmicos (com proj. de paginação)	Porto Alegre
18	I	13	1	Alvenaria estrutural		Canoas
19	E	12	1	Concreto armado	Tijolos	São Leopoldo
20	J	16	1	Concreto armado	Tijolos	Porto Alegre

A Tabela 10 apresenta as principais características das obras estudadas, em termos de empresa, nº de pavimentos, nº de prédios no lote, sistema construtivo empregado e cidade da obra. As obras (amostras) são denominadas por números, de 1 a 20.

Conforme apresentado na Tabela 10, pode-se observar a distribuição das construções nas cidades da região em estudo, o número de pavimentos, que varia de 7 à 23 e o número de prédios no lote, que em geral é de 1 prédio isolado, exceto nas amostras coletadas junto a empresa 7, onde a implantação no lote ocorre de forma diferente, como um conjunto de prédios, composto por 2 torres de apartamentos e garagem no subsolo e no térreo ou ainda

1 prédio de apartamentos e 1 prédio garagem isolado como é o caso da amostra 16. O sistema construtivo adotado em quase todos os casos é estrutura em concreto armado moldado in loco, com alvenaria de vedação em tijolos ou blocos cerâmicos, salvo as obras 7 e 18 que foram executadas no sistema de alvenaria estrutural.

Como não existem meios de enumerar todos os elementos participantes do universo em análise, não foi possível planejar a amostra segundo as técnicas tradicionais da estatística (TRIOLA, 1999). Assim, buscou-se a maior quantidade de empresas possível, sem utilizar critérios científicos rigorosos formando-se uma amostra denominada “julgada”, sem aleatoriedade ou chance igual de seleção para todos os elementos do universo (GONZÁLEZ, 2003).

3.2.2.1 Quantidade de resíduo gerada – variável dependente

A partir da definição das empresas participantes, organizou-se um banco de dados para cada obra estudada. A quantidade de resíduos gerada no modelo a ser proposto é a variável dependente e foi informada pela empresa, através do registro do número de caçambas contratadas no período da obra. O volume das caçambas foi verificado junto as próprias empresas que realizam a coleta e informado através de ligações telefônicas, variando entre 4, 5 e 6 m³. Cabe ressaltar que não foi considerado fator de empolamento dos resíduos nas caçambas.

Importante salientar que neste estudo não foram contabilizados resíduos provenientes de escavações e terraplanagem. Com os engenheiros responsáveis pelas obras estudadas, buscou-se informação quanto ao uso de resíduos para grandes volumes de aterro em obras da empresa, ou outros fatores que pudessem diminuir a quantidade de caçambas contratadas para a retirada de resíduos da obra.

3.2.2.2 Características relacionadas ao projeto arquitetônico – variáveis independentes

As variáveis relacionadas ao projeto arquitetônico das obras estudadas são do tipo quantitativo e a seguir são descritas:

- Área total construída e área do pavimento tipo, obtidas através da informação disponibilizada na planilha de áreas do projeto arquitetônico;

- A relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos do prédio (tipo/total);

- Densidade de paredes internas no pavimento tipo (m/m^2), que se refere ao comprimento de paredes internas (apenas paredes em alvenaria) incluindo os pilares, dividido pela área do pavimento tipo;

- Índice econômico de compacidade (IeC): relação entre as paredes externas que envolvem o edifício e a superfície do mesmo, calculado através das equações 3 e 4 , conforme teoria proposta propostas por Mascaró (2010) descrita no item 2.2.1.

A Equação 3 apresenta o IeC e a Equação 4 apresenta o perímetro econômico do projeto, utilizado na equação do IeC.

$$Iec = \frac{2\sqrt{Ap \cdot \pi}}{Pep} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

IeC = índice econômico de compacidade

A_p = superfície de projeto

P_{ep} = perímetro econômico de projeto

$$Pep = Ppr + 1,5Ppc + \frac{nA}{2} \quad \text{Equação 4}$$

P_{pr} = perímetro das paredes exteriores retas

P_{pc} = perímetro das paredes exteriores curvas

nA = número e arestas das fachadas

A inclusão do índice econômico de compacidade nas variáveis quantitativas em estudo deu-se a partir da hipótese de que uma vez que é estabelecida relação entre o grau de compacidade dos edifícios e a geração de resíduos, conforme demonstrado por Souza e Deana (2007) no item 2.2.1 , provavelmente ocorram maiores desperdícios em função dos recortes necessários em fachadas com muitas arestas e também devido à dificuldade de execução de paredes curvas. Os resultados de geração de resíduos obtidos por Saéz et al. (2012) para a etapa de execução de paredes exteriores, divisórias internas e coberturas corroboram com esta hipótese uma vez que estas atividades corresponderam a 46,05% do volume total de resíduos estimados.

Devido à sua maior participação no total de pavimentos do edifício, e maior possibilidade de influenciar no contexto geral da edificação, o pavimento tipo foi selecionado como referência no cálculo do IeC e da densidade de paredes internas.

Com a finalidade de homogeneizar as amostras foi adotado o critério de incorporar os pavimentos pertencentes ao prédio garagem à torre de pavimentos tipo (amostra 16), compensando o cálculo da relação nº pavimentos tipo x nº pavimentos total conforme ilustrado na Figura 7.

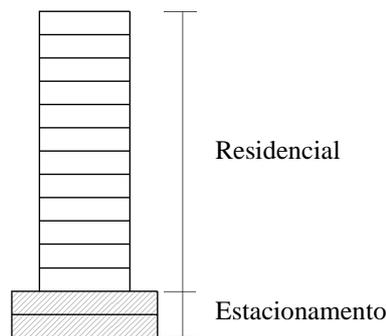


Figura 7 - Esquema de compensação por acréscimo de pavimentos

O cálculo realizado para a compensação é expresso na Equação 5

$$N^{\circ} \text{ de tipos} / \text{total de pavimentos} = \frac{18}{(19 + 4)} = 0,783 \quad \text{Equação 5}$$

3.2.2.3 Características relacionadas ao sistema de produção – variáveis independentes

As variáveis relacionadas ao sistema de produção são qualitativas e necessitam ser convertidas em valores numéricos antes de serem processadas estatisticamente. Estas são do tipo nominal, admitindo duas categorias, e ordinal onde as variáveis necessitam de classificação segundo seu desempenho, atribuindo-lhe valores relativos para denotar ordem (STEVENSON, 2001), para permitir a comparação objetiva das obras através da regressão múltipla.

As variáveis coletadas referentes ao sistema de produção foram:

- Geração de resíduos devido à prática de personalização dos apartamentos (sim ou não): tendo em vista que as empresas realizam personalização de apartamentos mediante solicitação dos clientes antes da execução do empreendimento, considerou-se “sim” somente

para os casos de personalizações permitidas na pós-construção do apartamento, gerando demolições e resíduos na obra.

- Reaproveitamento de resíduos no canteiro (sim ou não): essa variável foi incluída no estudo após constatação de que algumas das empresas participantes reaproveitam os resíduos Classe A. Em função dos dados utilizados serem provenientes de registros históricos de obras concluídas, não foi possível obter o volume de resíduos reutilizado nestas obras, sendo assim trabalhou-se com esta variável como dicotômica, ou seja, onde existe a prática atribuiu-se o valor (1) e onde não ocorre a prática atribuiu-se o valor (0).

- Organização no canteiro (escala de 1 a 5): essa variável engloba diversos aspectos do canteiro, como limpeza, preocupação com segurança e ferramentas de gestão da qualidade. A pontuação foi estabelecida a partir da percepção dos pesquisadores, a partir das visitas a canteiros de obras das empresas estudadas (foi considerada a média obtida entre as opiniões de dois observadores participantes da pesquisa). Foi considerado 1 aos canteiros com falhas de organização e 5 para os canteiros mais organizados.

- Sistema produtivo (1 a 3): a pontuação dessa variável seguiu os seguintes critérios:

- 1 (sistema artesanal): obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação sem paginação, alvenaria de divisão interna em tijolos, corte e dobra do aço realizado no canteiro, produção de argamassa no canteiro e poucos equipamentos de transporte na obra.

- 2 (sistema intermediário quanto à industrialização): obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação sem paginação, alvenaria de divisão interna em tijolos, corte e dobra do aço industrializados, emprego de argamassa industrializada, utilização de alguns componentes pré-fabricados e alguns equipamentos de transporte na obra. Também são consideradas como sistema produtivo duas obras executadas no sistema construtivo de alvenaria estrutural onde houve emprego de argamassa industrializada, utilização de alguns componentes pré-fabricados e alguns equipamentos de transporte na obra.

- 3 (sistema construtivo com práticas industrializadas): obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação externa em blocos racionalizados com projeto de paginação, toda a alvenaria de divisão interna dos apartamentos no sistema

Drywall³, corte e dobra do aço industrializados, emprego de argamassa industrializada, utilização de componentes pré-fabricados, ampla aplicação de equipamentos de transporte na obra e emprego da filosofia da construção enxuta, especialmente ao que diz respeito de abastecimento otimizado de materiais nos postos de trabalho (ferramentas de gestão como “*kanban* e *just in time*”).

Cabe comentar que as visitas nas obras realizadas no estudo piloto contribuíram muito para afinar a percepção dos pesquisadores em relação à pontuação das variáveis “organização no canteiro” e “sistema produtivo”.

3.2.3 Tratamento dos dados

Na segunda etapa deste estudo foi realizado o tratamento dos dados coletados na etapa anterior através da utilização de regressão linear múltipla, tendo em vista que as variáveis preditoras estão relacionadas com a variável de interesse (quantidade de resíduo gerada), porém o grau de relacionamento não é conhecido. A regressão linear consiste num modelo que relaciona as variáveis baseadas nos dados observados, obtendo assim um modelo empírico (MONTGOMERY et al, 2004).

Para tanto, num primeiro momento foi necessária a verificação do banco de dados, a fim de excluir amostras incompletas, como o caso de obras que não foram concluídas até o final do estudo. Em seguida realizaram-se as análises estatísticas, a fim de descrever a relação entre a variável dependente (Y) e as variáveis independentes (X), neste caso as características que demonstraram possível influência sobre a geração do RCD. Todas as análises foram realizadas a partir do programa computacional estatístico IBM SPSS Statistics.

Neste estudo é considerada a variável dependente (y) a quantidade de resíduo gerada, ou seja, a variável a ser explicada pelas variáveis independentes (X), que são as características de projeto e produção.

O modelo proposto pode ser representado pela Equação 6.

³ Conforme ABNT NBR 15578-1:2009 p.2 é definido como o “conjunto de componentes formado de chapa de gesso para *drywall*, estrutura de perfis de aço, acessórios de fixação e insumos destinados a atender determinadas funções de compartimentação, as guias definem e limitam verticalmente os ambientes internos dos edifícios controlando o fluxo de agentes solicitantes, cumprindo as exigências dos usuários.”

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_k X_{k,i} + \varepsilon$$

Equação 6

Y_i = variável dependente para a *i-ésima* obra;

X_i = variáveis independentes para a *i-ésima* obra;

β = coeficientes parciais de regressão

ε = erro

O volume de resíduos gerados nas obras foi calculado a partir da capacidade (em volume) das caçambas, informado pelas empresas coletoras contratadas por cada uma das construtoras. Esta variável foi coletada através da informação do registro de número de caçambas contratadas pelas empresas e fornecida para a pesquisa. As unidades utilizadas são metro cúbico (m³) para volume e quilograma (kg) para massa.

Considerando o fato de a amostra obtida poder ser considerada pequena, foi levado em conta o teorema do limite central que define que se a variável para a população sob amostragem tem distribuição normal, a distribuição das médias amostrais também será normal para todos os tamanhos de amostra. Este conceito torna possível fazer inferências sobre parâmetros populacionais mesmo em amostras pequenas, permitindo tirar conclusões aproximadas em torno dessa média (STEVENSON, 2001; MONTGOMERY et al., 2004).

A avaliação do conjunto de dados se deu através de gráficos de dispersão dos dados, do diagrama de caixa (*boxplot*) e testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade dos dados que compõem a variável dependente (Y), pois a distribuição Normal é requisito para aplicação da regressão linear.

Num segundo momento as variáveis coletadas que apresentaram influência sobre a variável dependente (Y) foram utilizadas na análise de regressão. Foi estabelecido nível de significância $\alpha = 0,05$ e analisados os coeficientes de determinação (R²) e de correlação (r), a análise de variância (F) e teste das variáveis explicativas (t). Além da análise dos resíduos através da verificação de sua normalidade através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk e por meio de gráficos de probabilidade normal dos resíduos.

O modelo empírico obtido, Equação 7, pode ser utilizado para a estimativa de valores desconhecidos, ou seja, tendo os valores das variáveis dependentes de uma nova empresa pode-se estimar o volume de resíduo que ela gera.

$$Y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,i} + \hat{\beta}_2 X_{2,i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{k,i} + \varepsilon$$

Equação 7

Y_i = variável dependente para a *i*-ésima obra;

X_i = variáveis independentes para a *i*-ésima obra;

$\hat{\beta}$ = coeficientes parciais de regressão estimados;

ε = erro.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos nas três etapas de pesquisa. Ao final é apresentado o modelo empírico obtido a partir das análises realizadas.

4.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS OBSERVADO NO ESTUDO PILOTO

Foi observado que nas onze obras visitadas no estudo piloto é utilizada estrutura em concreto armado moldado no local com concreto bombeado e formas de madeira. Em quatro obras são utilizadas escadas pré-fabricadas sendo que em uma delas também estão sendo utilizadas sacadas pré-fabricadas.

Com relação ao sistema de vedação utilizado 50% das empresas empregam vedação em blocos cerâmicos (dimensões padronizadas) enquanto as demais utilizam tijolos. A empresa C_p relatou que, devido a dificuldades na relação com os projetistas, está deixando de aplicar alvenaria de blocos cerâmicos paginados e retornará a utilização de tijolos cerâmicos. Das obras analisadas, apenas a empresa B_p , responsável pelas obras 7_p , 8_p e 9_p não utiliza argamassa pré-misturada.

A Figura 8 mostra fotografias das obras 3_p e 8_p , tiradas durante o período de realização do estudo piloto.



Figura 8 – (a) Foto obra 3_p (b) Foto obra 8_p

As empresas A_p , B_p e C_p permitem a solicitação de alterações internas nos apartamentos (alvenarias e instalações) durante o período de execução do edifício, enquanto que na empresa D_p não foi possível verificar tal informação, pois a obra está em ritmo de execução lento devido a problemas estruturais. Cabe ressaltar que na empresa C_p existe uma política interna para solicitação de alterações por parte do cliente onde este é informado previamente do início da execução das alvenarias e são estabelecidos prazos para o recebimento de projetos de alterações que são encaminhados para aprovação da incorporadora. Com o atendimento destas exigências não ocorrem demolições desnecessárias e o andamento da obra não é afetado. Nas empresas A_p e B_p as alterações são feitas conforme solicitado pelo cliente, podendo gerar demolições e atrasos na execução.

Em relação à triagem dos resíduos no canteiro, todas as empresas declararam fazer algum tipo de separação, e esta ocorre fundamentalmente entre classes (A, B, C, D). Os resíduos Classe A (componentes cerâmicos, argamassa, concreto e solo) são armazenados em caçambas estacionárias na obra, retirados e destinados por empresas coletoras atuantes na cidade. Dentre a resíduo Classe B, a madeira e o gesso são armazenados separadamente em caçambas estacionárias e enviados através das empresas coletoras. Os demais resíduos Classe B (plásticos, papel, papelão, metais e vidros) geralmente são vendidos ou doados a catadores e cooperativas de reciclagem. As fotografias mostradas nas figuras 9, 10 e 11 mostram as práticas de armazenamento de resíduos observadas nas obras das empresas visitadas durante o estudo piloto.

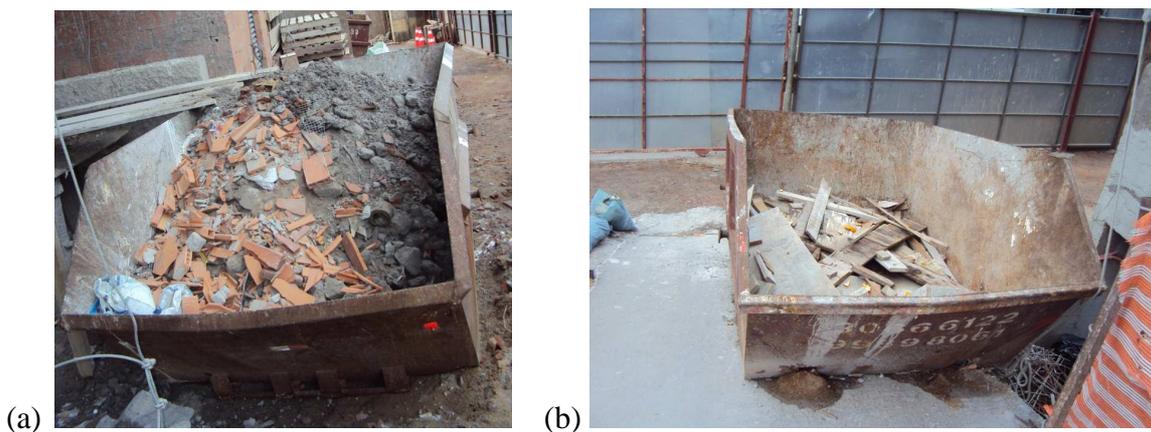


Figura 9 – (a) Armazenamento de RCD Classe A (b) Armazenamento de RCD Classe B

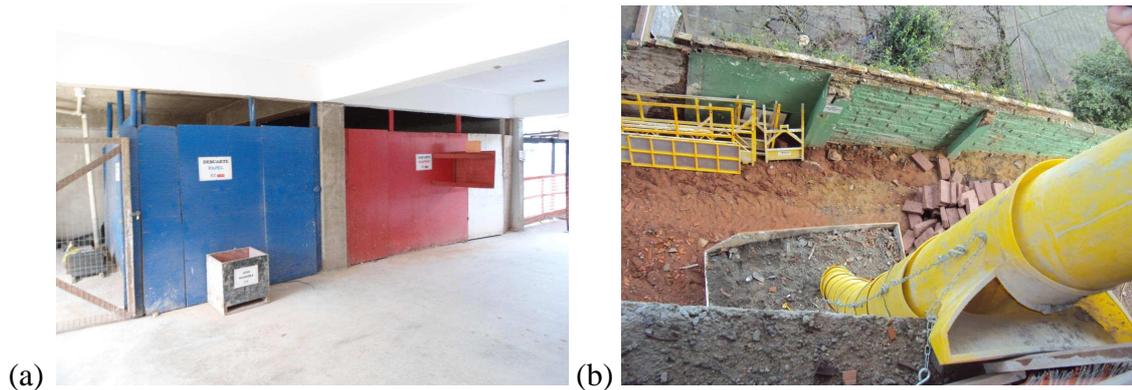


Figura 10 – (a) Baias de armazenamento de resíduos (b) tubulação de descarte nos pavimentos



Figura 11 – (a) Armazenamento de resíduos de gesso em baias (b) resíduos Classe A sendo reaproveitados como aterro em um vão

Quanto à utilização de programas de certificação da qualidade, a Empresa B_p possui certificação PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat) em implantação, a Empresa B_p não possui nenhuma certificação, a Empresa C_p possui certificação PBQP-H nível C (implantado em 2012) e a Empresa D_p também se encontra em processo de implantação de certificação PBQP-H.

Observou-se nas quatro empresas o uso de EPI's pelos operários, assim como sempre foram fornecidos capacetes aos visitantes, sendo que em alguns canteiros foi cobrado o uso de botas de segurança.

Frente aos resultados observados durante as visitas realizadas nesta etapa foram definidas as variáveis referentes ao sistema de produção, sendo elas: reaproveitamento de resíduos no canteiro; organização no canteiro (escala de 1 a 5) e sistema produtivo (1 a 3), a serem coletadas e analisadas nas etapas seguintes a fim de verificar a influência de cada uma.

Tendo em vista a baixa adesão aos sistemas de gestão da qualidade, essa variável foi desconsiderada.

Por fim, cabe comentar que essa preocupação com o armazenamento dos resíduos no canteiro, constatada nas obras visitadas, tem estreita relação com a exigência dos projetos de gerenciamento de resíduos pela Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura de Novo Hamburgo, desde o início de 2012.

No município de Novo Hamburgo, esse projeto é exigido na etapa de licença ambiental da obra, anterior à etapa de aprovação dos projetos. No site da Prefeitura existe um documento que apresenta diretrizes para elaboração e apresentação do plano de gerenciamento de resíduos (Anexo A). As diretrizes estão organizadas em 5 itens, e compreendem a identificação do empreendimento, informações gerais (informações sobre o empreendimento e a indicação do responsável técnico pelo plano de gerenciamento de resíduos e outras informações sobre a geração do resíduo), diagnóstico da situação atual (avaliação das quantidades, caracterização, armazenamento, custos, e metas de redução da geração, entre outros), proposta do plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS), e atualização do PGRS (relatórios de acompanhamento e evolução do sistema implantado, a serem apresentados na renovação da licença ambiental).

Segundo informações colhidas com engenheiros das empresas participantes do estudo piloto, os planos estão sendo realizados segundo essas diretrizes, porém sentem muita dificuldade em estimar a quantidade de resíduos gerada e controlar as metas de minimização dos resíduos. Segundo um dos engenheiros contatados, a estimativa de geração de resíduo é feita de maneira totalmente empírica, a partir da área da construção e uma taxa de geração.

4.2 VARIÁVEIS NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS: DADOS COLETADOS SOBRE AS OBRAS QUE COMPÕEM A AMOSTRA

Os dados levantados na segunda etapa do trabalho, envolvendo as vinte obras das dez empresas (A a J) são apresentados em termos de variável dependente (quantidade de resíduo gerado em cada obra) e em variáveis independentes, relativas às características de projeto arquitetônico e produção.

4.2.1 Variável dependente – número de caçambas coletadas

Os dados de números de caçambas coletadas durante a execução de cada uma das obras são apresentados na Tabela 11. Também é apresentada a capacidade de volume das

caçambas utilizadas, o volume de resíduo resultante em m³ e a geração de resíduo por área construída (m³/m²).

Tabela 11 - Volume de resíduos gerados

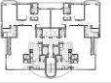
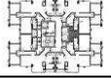
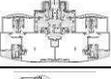
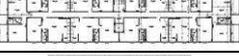
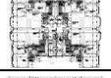
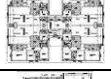
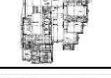
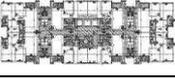
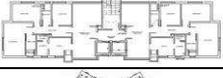
ID	Empresa	Nº de caçambas	Capacidade das caçambas utilizadas (m ³)	Volume total de resíduos gerados (m ³)	Geração de resíduo / área construída (m ³ /m ²).
1	A	235	6	1410	0,18
2	A	315	6	1890	0,13
3	A	140	6	840	0,09
4	A	179	6	1074	0,08
5	B	179	6	1074	0,19
6	C	218	4	872	0,20
7	C	100	4	400	0,20
8	D	105	4	420	0,06
9	D	125	4	500	0,05
10	F	153	4	612	0,08
11	F	184	4	736	0,11
12	G	488	4	1952	0,08
13	G	297	4	1188	0,08
14	G	378	4	1512	0,07
15	G	541	4	2164	0,10
16	G	219	4	876	0,06
17	H	253	4	1012	0,37
18	I	178	4	712	0,09
19	E	233	5	1165	0,05
20	J	563	4	2252	0,29

Destaca-se a média de geração de resíduos por m² obtida a partir do volume de resíduos informado em cada obra dividido pela área construída de cada um dos empreendimentos.

4.2.2 Variáveis independentes relacionadas ao projeto

As variáveis consideradas para avaliação da participação de fatores relacionados ao projeto arquitetônico sobre a geração de resíduos durante a construção de edifícios são do tipo quantitativo e consistem na área total do edifício (m²), área do pavimento tipo (m²), a participação do nº de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos do edifício (tipo/total), densidade de paredes internas do pavimento tipo (m/m²) e o IeC (índice econômico de compactidade).

Tabela 12 – Variáveis independentes relacionadas ao projeto (quantitativas)

ID	Planta do pavimento tipo	Área total (m ²)	Área do tipo (m ²)	Nº tipos	Relação tipo/total	IeC	Perímetro de paredes internas	Densidade de paredes
1		7994,53	321,90	17	0,81	62,83	166,72	0,52
2		14297,00	509,23	19	0,83	43,12	272,44	0,54
3		9496,70	369,63	15	0,83	44,23	190,61	0,52
4		12684,08	429,04	17	0,85	56,31	249,9	0,58
5		5776,96	360,65	9	0,75	62,09	173,7	0,48
6		4326,08	564,95	5	0,71	59,23	259,98	0,46
7		1969,42	282,33	5	0,71	59,35	131,54	0,47
8		6588,00	423,00	9	0,69	55,47	197,16	0,47
9		9807,00	674,40	9	0,75	59,27	297,55	0,44
10		7619,94	346,80	14	0,82	60,58	135,4	0,39
11		6856,52	399,77	13	0,81	66,82	186,88	0,47
12		23920,33	605,84	14	0,82	51,77	169,93	0,28
13		15230,89	532,00	10	0,77	60,17	104,96	0,20
14		21632,44	531,48	15	0,88	58,31	105,385	0,20
15		21129,08	696,57	14	0,93	55,69	179,11	0,26
16		14038,61	546,83	18	0,78	51,93	137,87	0,25
17		2700,00	230,51	9	0,82	57,91	99,77	0,43
18		8283,00	506,00	12	0,92	41,05	244,65	0,48
19		21794,63	419,20	9	0,75	61,74	219,27	0,52
20		7812,24	427,21	13	0,81	72,27	177,4	0,42

Na Tabela 12 são apresentados os dados coletados referentes às características de projeto consideradas. Informações como área e nº de pavimentos foram disponibilizadas pela empresa participante, e as demais, relação tipo/total de pavimentos, densidade de paredes internas e IeC foram calculadas como apresentado no método de pesquisa.

Observa-se que a Obra nº 14 é composta por 2 torres residenciais com plantas tipo diferentes, fato que não ocorre nos demais, conforme pode ser observado na Tabela 12. Considerando que a quantidade de resíduos gerada informada corresponde a todo o empreendimento, e ambas as torres possuem o mesmo número de pavimentos, se optou por realizar uma média entre os valores das duas plantas do empreendimento para os dados de área, IeC e densidade de paredes, pertencentes às mesmas no intuito de homogeneizar a amostra possibilitando sua utilização neste estudo.

Na amostra nº16, para o cálculo da participação do número de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos, relação tipo/total, foi feito acréscimo de 4 pavimentos (referentes ao prédio garagem) no total de pavimentos do edifício a fim de homogeneizar a amostra com as demais, conforme exposto no método de pesquisa (item 3.2.2.2).

Quanto à densidade de paredes internas (Tabela 12), observa-se que todas as amostras pertencentes à empresa G (nº 12 ao nº16) apresentaram resultados para esta variável abaixo das demais, este fato se deve ao emprego da tecnologia Drywall em todas as divisórias internas dos apartamentos (somente divisão entre unidades em alvenaria), e em decorrência da metodologia adotada neste estudo prever não contabilizar paredes Drywall na variável densidade de paredes internas.

4.2.3 Variáveis independentes – relacionadas à produção

As variáveis consideradas neste estudo para avaliação da participação de fatores relacionados à produção sobre a geração de resíduos são do tipo qualitativo, e são elas: personalização dos apartamentos (sim ou não); reaproveitamento de resíduos no canteiro (sim ou não) sendo substituídos por “1” e “0” respectivamente para aplicação da análise estatística; organização no canteiro (escala de 1 a 5) e sistema produtivo (1 a 3), conforme método já descrito. Os dados referentes às características relacionadas à produção avaliadas são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Variáveis relacionadas à produção (qualitativas)

ID	Empresa	Sistema produtivo (1 a 3)	Organização do canteiro (1 a 5)	Reaproveitamento de resíduos em obra	Personalização
1	A	2	4	não	não
2	A	2	4	não	não
3	A	2	3	sim	não
4	A	2	3	sim	não
5	B	1	2	não	sim
6	C	1	5	não	não
7	C	2	5	não	não
8	D	1	4	não	não
9	D	1	4	não	não
10	F	1	3	sim	não
11	F	1	3	sim	não
12	G	3	4	sim	não
13	G	3	4	sim	não
14	G	3	3	sim	não
15	G	3	4	sim	não
16	G	3	4	sim	não
17	H	1	4	não	não
18	I	2	3	sim	não
19	E	2	3	não	não
20	J	2	3	não	não

Na metodologia foi previsto considerar a variável personalização de apartamentos dentre as variáveis de sistema produtivo, porém ao serem consultadas sobre a realização de alterações internas nos apartamentos (alvenarias e instalações) durante o período de execução dos edifícios, apenas a empresa B realizou modificações de alvenaria na obra 5 após esta já haver sido executada. As demais empresas informaram que modificações só foram permitidas antes do início da execução, ou ainda após a entrega do imóvel, sendo de responsabilidade do proprietário, e tendo em vista a baixa ocorrência, optou-se por não trabalhar com esta variável.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO EMPÍRICO

Considerando as informações das vinte amostras, num primeiro momento realizou-se a análise descritiva, com o objetivo de conhecer a distribuição das variáveis para posteriormente aplicar a análise de regressão múltipla e, por fim chegar-se ao modelo empírico.

Cabe comentar que os dados correspondentes à variável dependente (Y) foram coletados junto às empresas sob a unidade de número de caçambas de RCD retiradas das obras. Porém tendo em vista a verificação da ocorrência de diferença entre os volumes de caçambas das empresas coletoras decidiu-se executar a transformação dos dados coletados para volume em metros cúbicos (m³). Esta transformação foi executada a partir da multiplicação da quantidade de caçambas relatadas pela empresa pelo volume de caçamba informada pela empresa coletora de resíduos conforme Tabela 11 do item 4.2.1.

4.3.1 Análise descritiva dos dados coletados

Inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados onde se observam os valores mínimos e máximos de cada uma das variáveis em estudo, as médias, desvio padrão e o coeficiente de variação das mesmas (Tabela 14).

Tabela 14 - Estatística descritiva da amostra

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Nº de pavimentos	20	7,00	23,00	15,2500	4,57539	30,0%
Tipo / Total pav.	20	0,69	0,93	0,8035	0,06514	8,1%
Área total	20	1.969,42	23.920,33	11.197,8725	6.648,08825	59,4%
Área pavimento tipo	20	230,51	696,57	458,8670	125,53330	27,4%
IeC	20	41,05	72,27	57,0069	7,68042	13,5%
Densidade de paredes internas	20	0,20	0,58	0,4182	0,11682	27,9%
Organização do canteiro	20	2,00	5,00	3,6000	0,75394	20,9%
Sistema produtivo	20	1,00	3,00	1,9000	0,78807	41,5%
Reaproveitamento de resíduos	20	-	-	-	-	-
Volume de RCD (m ³)	20	400,00	2.252,00	1.133,0500	565,57427	49,9%
Geração média (m ³ xm ²)	20	0,05	0,37	0,1286	0,08580	66,7%

Dos dados apresentados na Tabela 14, destaca-se a média de geração de resíduos por m² obtida a partir do volume de resíduos informado em cada obra dividido pela área construída de cada um dos empreendimentos. Os valores mínimo e máximo obtidos para geração de resíduo por metro quadrado variam de 0,05m³/m² a 0,37m³/m² e sua média ficou em 0,1286 m³/m². Esta variação evidencia a importância de adicionar fatores ao estudo no intuito de estimar a variabilidade ocasionada pelas diferentes práticas das empresas construtoras.

Com base no coeficiente de variação é possível observar que as variáveis tipo/total e IeC apresentaram baixa dispersão, se mostrando homogêneas. Já as variáveis, organização no canteiro, número de pavimentos e densidade de paredes internas

demonstraram dispersão média, e por fim a variável sistema produtivo apresentou dispersão elevada.

4.3.2 Análise da variável dependente (Y)

Complementando a análise descritiva apresentada anteriormente foram aplicados os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, sobre a variável dependente (Y) a fim de demonstrar a viabilidade de aplicação da metodologia de análise estatística por regressão linear múltipla. Foi então testada a hipótese de normalidade dos dados da variável dependente cujos resultados são apresentados na Tabela 15. Inicialmente observou-se o p-valor obtido para o teste Shapiro-Wilk, considerado mais indicado em amostras menores do que 30. Com o resultado encontrado de p-valor= 0,103 não se rejeita a hipótese de normalidade para a variável dependente.

Tabela 15 - Teste de normalidade variável dependente

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	p-valor	Statistic	df	p-valor
VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS	0,161	20	0,184	0,921	20	0,103

O gráfico *boxplot* apresentado na Figura 12 demonstra que não existe presença de *outliers*⁴ na amostra. O *boxplot*, ou gráfico de caixa é um recurso utilizado para avaliar visualmente a distribuição empírica do dados, sendo que os *outliers* são identificados por asteriscos.

⁴**Outlier** consiste numa observação que apresenta um grande afastamento das demais da amostra, ou que é inconsistente. A existência de *outliers* implica em prejuízos à interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados as amostras.

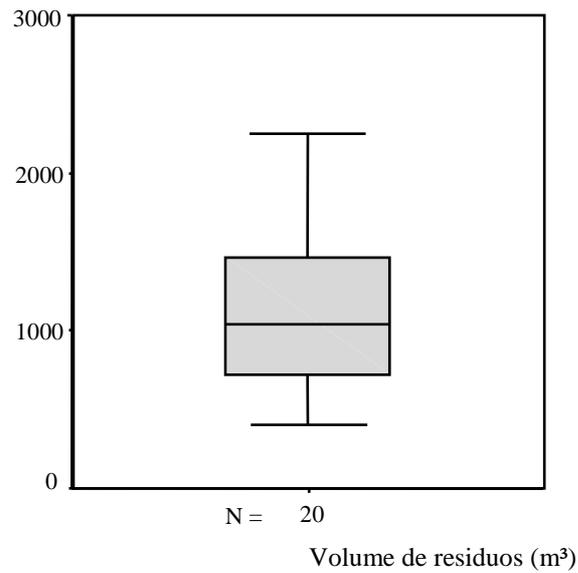


Figura 12 - Gráfico *boxplot* da variável dependente – volume de resíduos gerados

O gráfico de probabilidade normal da Figura 13 comprova a distribuição normal da variável devido à proximidade dos pontos e sua aleatoriedade em relação à reta ascendente.

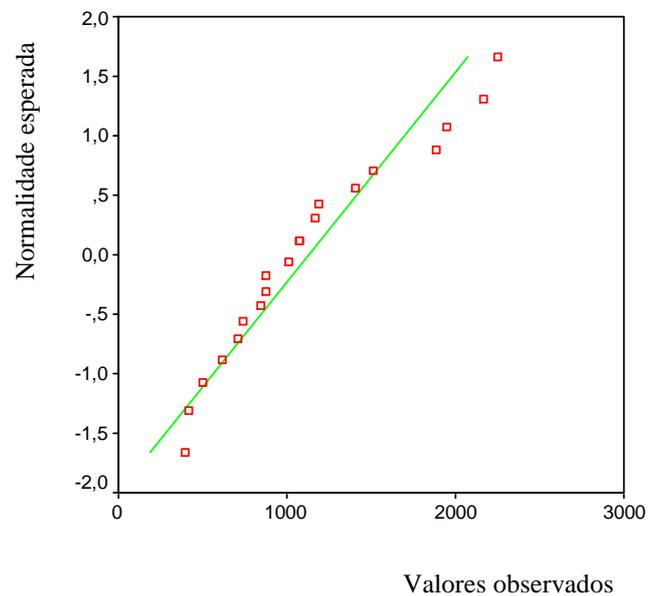


Figura 13 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o volume de resíduos

A Figura 14 apresenta a dispersão dos dados em relação à reta horizontal, onde aleatoriedade da distribuição em relação à reta aponta a normalidade dos dados.

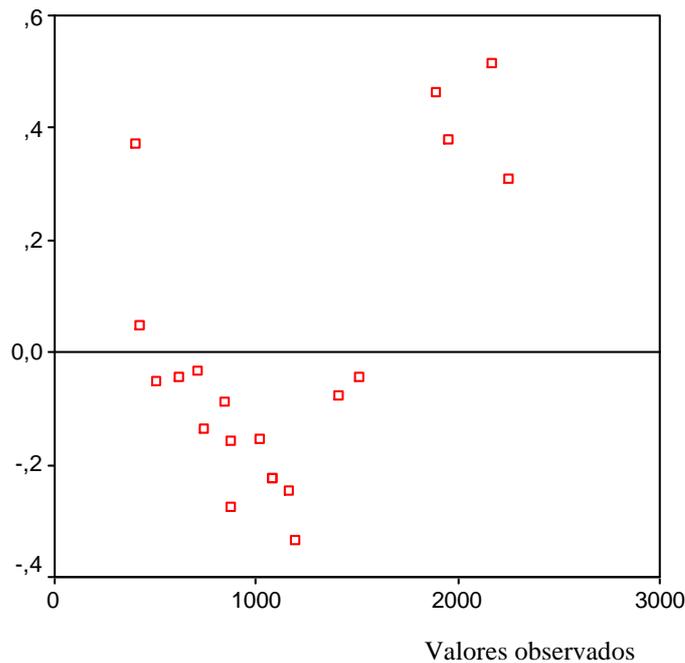


Figura 14 - Gráfico tendência normal (detrended normal q-q plot)

4.3.3 Análise das variáveis independentes

Em sequência à análise da variável dependente, procedeu-se a análise de cada uma das variáveis independentes. As variáveis independentes consideradas e analisadas foram: nº de pavimentos, relação entre nº de pavimentos tipo e o nº total de pavimentos (tipo/total), área total, área do pavimento tipo, IeC, densidade de paredes internas, organização do canteiro, sistema de produção e reaproveitamento de resíduos. Inicialmente foram elaborados gráficos de dispersão de alguns dos dados quantitativos *versus* a variável dependente com intuito de visualizar uma possível relação de causa e efeito entre eles.

As Figuras 15 e 16 mostram os gráficos de dispersão das variáveis “número de pavimentos” e “tipo/total” em relação ao volume de resíduos (m^3) respectivamente. Observa-se elevação no volume de resíduos conforme aumentam o número de pavimentos tipo, assim como também ocorre aumento do volume de resíduos conforme aumenta a participação dos pavimentos tipo sobre o total de pavimentos.

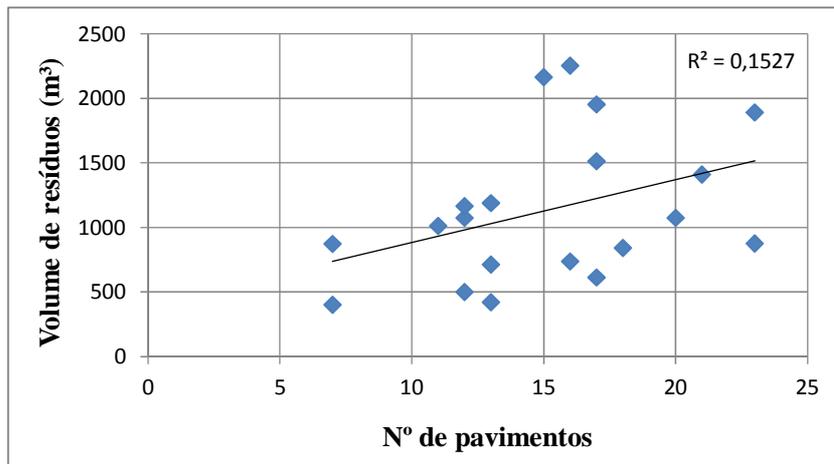


Figura 15 - Gráfico variável número de pavimentos

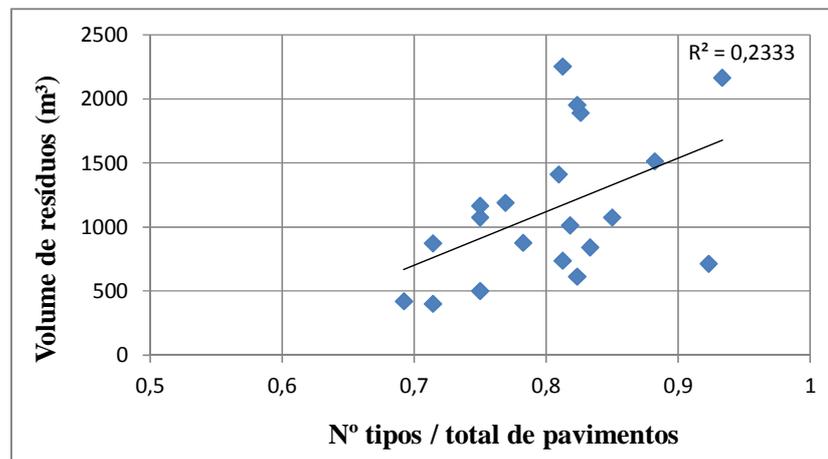


Figura 16 - Gráfico variável participação pavimentos tipo sobre o total de pavimentos

No gráfico da Figura 16, com aumento do nº de pavimentos tipos observa-se redução da dispersão dos dados e redução da geração de resíduos em consequência da repetição de pavimentos, que também pode ser notada no gráfico da Figura 17, onde é apresentada a relação entre o número de pavimentos e o índice de geração de RCD por metro quadrado construído.

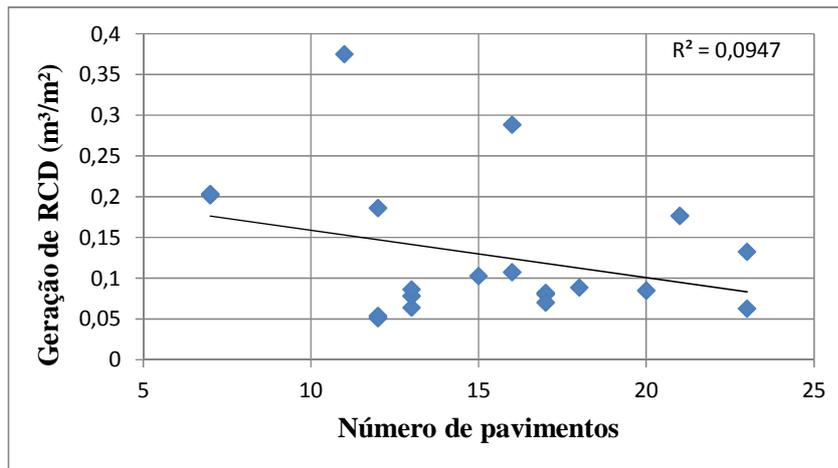


Figura 17 - Gráfico índice de geração de RCD x número de pavimentos

Neste gráfico da Figura 17 é possível observar o decréscimo da geração de RCD devido ao aumento do número de pavimentos situação que indica que a prática de repetição proporciona redução da geração de resíduos.

As Figuras 18, 19 e 20 mostram os gráficos de dispersão das variáveis “índice econômico de compacidade”, “densidade de paredes internas” e “área total” em relação ao volume de resíduos (m³) respectivamente.

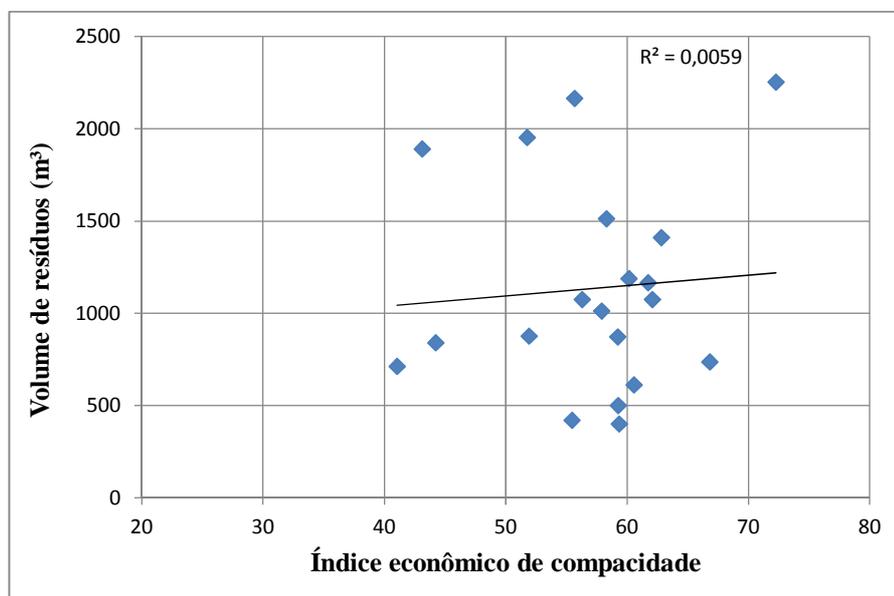


Figura 18 - Gráfico variável índice econômico de compacidade

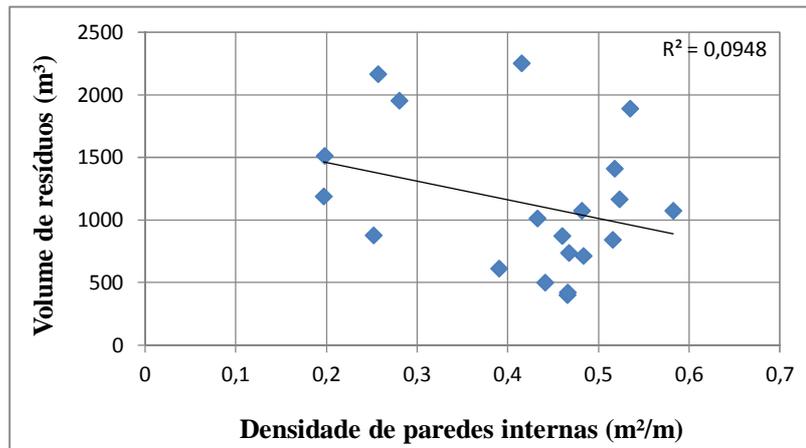


Figura 19 - Gráfico variável densidade de paredes internas

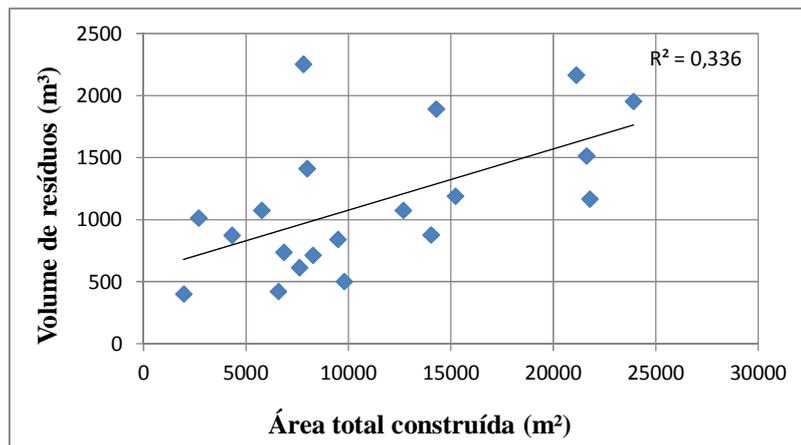


Figura 20 - Gráfico variável área total

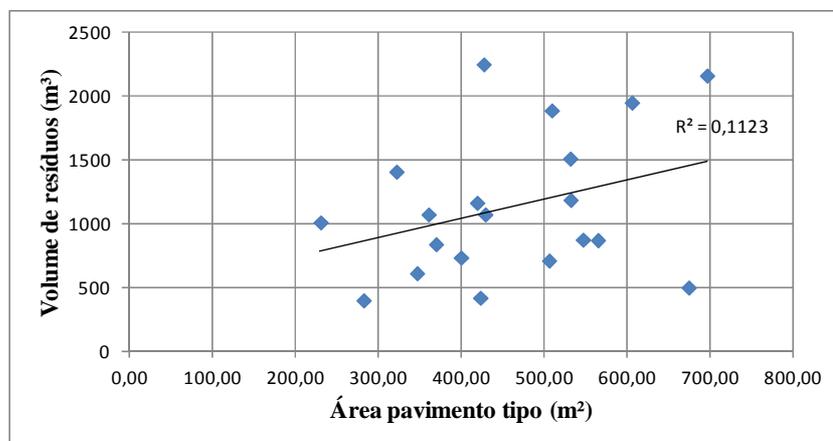


Figura 21 - Gráfico variável área do pavimento tipo

No gráfico da Figura 18 pode-se notar a discreta variação do volume de resíduos em consequência de aumento do índice de compactidade e no gráfico da Figura 19 observa-se queda do volume de resíduos conforme ocorre redução da densidade de paredes internas, o que é justificável devido à redução dos trabalhos de execução de alvenaria e revestimento. No gráfico da Figura 20 é possível visualizar aumento do volume de resíduos em virtude do aumento da área construída, o que é uma situação lógica, situação que ocorre de maneira semelhante no gráfico da Figura 21 com a área do pavimento tipo.

As Figuras 22 e 23 apresentam os gráficos de dispersão da variável “índice de geração de resíduos (m^3/m^2)” em relação à área total construída (m^2) e em relação ao número de pavimentos tipo, respectivamente.

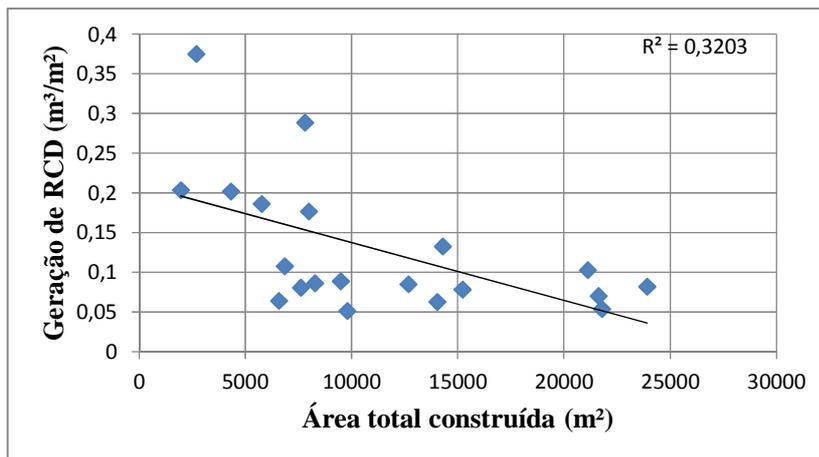


Figura 22 – Gráfico índice de geração de RCD x área total construída

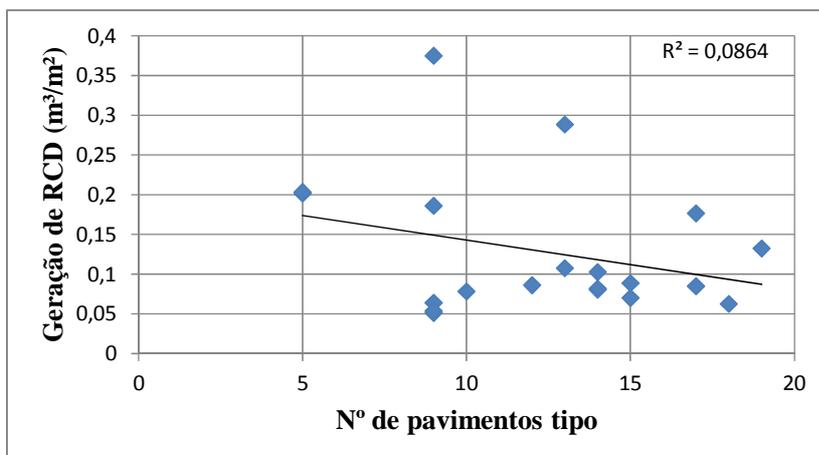


Figura 23 – Gráfico índice de geração de RCD x nº de pavimentos tipo

No gráfico da Figura 22 observa-se queda do índice de geração de RCD em função do aumento da área construída, o que pode se justificar pela repetição (pavimentos tipo) que ocorre em obras verticais, e o aprimoramento obtido na execução repetida das plantas, conforme comprovado pelo gráfico da Figura 23.

Nos gráficos anteriores é possível observar que as variáveis independentes quando analisadas de maneira isolada em relação à variável dependente, obtiveram baixo coeficiente de determinação, o que reforça a necessidade da análise da influência das variáveis independentes, em conjunto, sobre a variável resposta (dependente).

Outra verificação importante na análise de relação entre as variáveis consiste na análise de correlação. Esta permite verificar o grau de correlação e a sua direção, positiva ou negativa. Avaliar a correlação entre as variáveis independentes é conveniente, pois permite verificar a existência de multicolinearidade, que seriam duas variáveis que explicam o mesmo fenômeno, podendo ocasionar erro-padrão elevado na regressão.

Essas análises são apresentadas na Tabela 16, que demonstra valores de correlação Pearson para as variáveis relacionadas às características de projeto arquitetônico e produção.

Tabela 16 – Valores de correlação Pearson entre as variáveis independentes

	Nº de pavimentos	Tipo / Total	Área total	Área do pav. Tipo	IeC	Densidade de paredes	Organização do canteiro	Sistema produtivo	Reaproveitamento RCD
Nº Pavimentos	1,00	0,48	0,39	0,08	-0,23	-0,10	-0,32	0,40	0,42
Tipo/Total	0,48	1,00	0,41	0,24	-0,35	-0,22	-0,35	0,45	0,63
Área total	0,39	0,41	1,00	0,61	-0,19	-0,51	-0,12	0,75	0,45
Área tipo	0,08	0,24	0,61	1,00	-0,23	-0,49	0,21	0,44	0,31
IeC	-0,23	-0,35	-0,19	-0,23	1,00	-0,08	-0,10	-0,26	-0,31
Densidade de paredes	-0,10	-0,22	-0,51	-0,49	-0,08	1,00	-0,16	-0,64	-0,49
Organização do canteiro	-0,32	-0,35	-0,12	0,21	-0,10	-0,16	1,00	0,11	-0,27
Sistema produtivo	0,40	0,45	0,75	0,44	-0,26	-0,64	0,11	1,00	0,52
Reaproveitamento de RCD	0,42	0,63	0,45	0,31	-0,31	-0,49	-0,27	0,52	1,00

Na Tabela 16 observam-se valores limites de correlação positiva de 0,75 para a (área total x sistema produtivo) e correlação negativa de -0,64 (densidade de paredes x sistema produtivo). A partir dos resultados da análise de correlação entre as variáveis relativas

ao projeto e produção é possível constatar que ocorreram casos de correlações altas para as variáveis densidade de paredes, sistema produtivo e área do tipo, o que indica que algumas destas variáveis provavelmente explicaram a mesma situação podendo ocasionar multicolineariedade no modelo. Cabe considerar que durante a análise de regressão foram realizados ajustes, como a retirada de variáveis e testes de diversas combinações de variáveis buscando a maior explicação possível da variável dependente. Estes ajustes foram realizados baseados nos valores obtidos de coeficiente de determinação e no teste t das variáveis explicativas conforme apresentado no 4.3.4.

4.3.4 Análise de regressão

Tendo em vista a normalidade dos dados que compõe a variável dependente (volume de resíduos gerados) a análise de regressão foi executada testando diversas combinações de variáveis independentes a fim de buscar o melhor ajuste do modelo. Para os testes foi adotado o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Inicialmente testaram-se todas as variáveis coletadas para este estudo (Modelo 1): nº de pavimentos, relação entre o número de pavimentos tipos e o número total de pavimentos (tipo/total), área total, área do pavimento tipo, IeC, densidade de paredes internas, organização do canteiro, sistema produtivo e reaproveitamento de resíduos.

As Tabelas 17 e 18 apresentam os resultados obtidos na análise de regressão com todas as variáveis, denominada Modelo 1. Observa-se que o valor obtido de coeficiente de determinação $R^2=0,745$ para o Modelo 1 indica elevada explicação da variável dependente, porém o coeficiente de determinação ajustado, que pondera o R^2 de acordo com o número de variáveis independentes no modelo e o número de amostras penalizando a inclusão de regressores pouco explicativos, teve resultado inferior ficando em R^2 ajustado=0,515 fato justificado pela grande quantidade de variáveis independentes incluídas no teste e o pequeno número de amostras.

Tabela 17 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 1

Modelo	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
1	0,745	0,515	393,75375	3,244	0,04

Conforme Batalha (2011) na regressão, a estatística F pode ser utilizada com a finalidade de testar todas as variáveis do modelo como um grupo, ou seja, testar a adequação do modelo, onde o pressuposto é que:

H_0 : todos os Betas são iguais a zero

H_1 : $\beta \neq 0$

Observa-se que a hipótese nula é que nenhum beta possui relação significativa com a variável Y e a hipótese alternativa é de que existe pelo menos um beta diferente de zero, ou seja, pelo menos uma variável X possui relação linear significativa com Y.

Com nível de significância $\alpha = 0,05$, o resultado obtido para o teste F, obteve p-valor=0,04, demonstra que em conjunto, as variáveis testadas explicam 52% da variável dependente.

Tabela 18 - Coeficientes do Modelo 1

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Constante	-5230,155	2434,436	0,057
Nº de pavimentos	19,270	24,918	0,457
Tipo/total	5332,146	2032,855	0,025
Área total	0,020	0,027	0,477
Modelo 1 Área do pavimento tipo	0,547	1,079	0,623
IeC	21,731	14,857	0,174
Densidade de paredes	-144,173	1292,666	0,913
Organização do canteiro	-11,486	169,383	0,947
Sistema produtivo	285,209	236,041	0,255
Reaproveitamento de resíduos	-731,688	279,350	0,026

Quanto à verificação das variáveis independentes na análise de regressão, Tabela 18, nota-se que apenas duas variáveis se mostraram significativas no modelo testado, este fato pode ser explicado pelo grande número de variáveis testadas e o baixo número de amostras (N).

Em nova análise, retirando-se as variáveis que obtiveram p-valor mais alto: densidade de paredes internas e organização do canteiro chegou-se o Modelo 2, cujos dados da análise são apresentados nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 2

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
2	0,745	0,595	359,71858	4,996	0,007

Tabela 20 – Coeficientes do Modelo 2

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Constante	-5419,036	1659,421	0,007
Nº de pavimentos	19,092	22,084	0,404
Tipo/total	5343,127	1755,822	0,010
Área total	0,020	0,022	0,378
Área do pavimento tipo	0,561	0,870	0,531
IeC	22,631	11,814	0,080
Sistema produtivo	290,388	168,586	0,111
Reaproveitamento de resíduos	-714,909	222,627	0,007

Conforme observado na Tabela 19, houve aumento do coeficiente de determinação ajustado para 0,595, o que representa melhora do modelo na explicação da variável dependente. O teste F nesta análise demonstrou que o Modelo 2 tem significância sobre a geração de resíduos.

Quanto à verificação das variáveis independentes na análise de regressão do Modelo 2 (Tabela 20), é possível constatar que algumas variáveis já se mostraram significativas para o nível de significância $\alpha = 0,05$ (tipo/total e reaproveitamento de resíduos).

Retiradas as variáveis nº de pavimentos e área do pavimento tipo obteve-se o Modelo 3, que de acordo com os valores apresentados Tabela 21 e 22. O valor de R² ajustado para o Modelo 3 atingiu 0,626 o que demonstra que este explica 63% da geração de resíduos em obras de edificações residenciais verticais. A análise de variância do modelo através do teste F confirma a influência das variáveis preditoras (**X**) sobre a variável dependente (**Y**) do modelo de regressão testado.

Tabela 21 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 3

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
3	0,724	0,626	345,93143	7,357	0,001

Tabela 22 - Coeficientes do Modelo 3

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor	
Modelo 3	Constante	-5144,247	1519,607	0,004
	Tipo/total	5661,252	1629,274	0,004
	Área total	0,029	0,018	0,137
	IeC	20,880	11,169	0,083
	Sistema produtivo	295,135	161,519	0,089
	Reaproveitamento de resíduos	-689,030	212,550	0,006

Em relação aos resultados obtidos para as variáveis independentes testadas no Modelo 3 (Tabela 22), observa-se que “tipo/total” e “reaproveitamento de resíduos” foram as variáveis que mostraram influência ao nível de significância $\alpha = 0,05$, sendo que as variáveis restantes (“área total”, “IeC” e “sistema produtivo”), embora não tenham obtido resultado significativo ao nível de significância estabelecido, se apresentaram importantes no modelo, pois sua retirada ocasionou redução expressiva na explicação da variável resposta, conforme demonstrado nas análises subsequentes. Observa-se que outros estudos realizados também optaram por manter variáveis não significativas ao nível de $\alpha = 0,05$, conforme o caso de Kruger et al. (2012) que mantiveram variável de p-valor = 0,1145, por esta ser de influência notória sobre a variável dependente em questão.

Retirando-se a variável “área total”, menos significativa dentre as testadas, foram obtidos os resultados de $R^2 = 0,675$ e R^2 ajustado=0,589 para o Modelo 4 demonstrando redução do grau de explicação da variável dependente (Tabela 23 e Tabela 24).

Tabela 23 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 4

Modelo	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
4	0,675	0,589	362,67364	7,802	0,001

Tabela 24 - Coeficientes do Modelo 4

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor	
Modelo 4	Constante	-5379,907	1585,430	0,004
	Tipo/total	5896,790	1700,935	0,003
	IeC	21,549	11,702	0,085
	Sistema produtivo	464,951	126,215	0,002
	Reaproveitamento de resíduos	-674,365	222,624	0,008

Em nova análise, retirando-se a variável “IeC”, chegou-se ao Modelo 5, onde, apesar de todas as variáveis independentes mostrarem-se significativas ao nível de

significância $\alpha = 0,05$ (Tabela 26), obteve-se coeficiente de determinação abaixo dos encontrados nos Modelos 4 e 5 (Tabela 25).

Tabela 25 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 5

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
5	0,602	0,527	388,83389	8,066	0,002

Tabela 26 - Coeficientes do Modelo 5

		Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Modelo 5	Constante	-3603,583	1349,019	0,017
	Tipo/total	5282,018	1788,160	0,009
	Sistema produtivo	446,077	134,872	0,004
	Reaproveitamento de resíduos	-710,381	237,759	0,009

Tendo em vista a importância do coeficiente de determinação (R²) e do coeficiente de determinação ajustado (R² ajustado) sobre o modelo a ser adotado, optou-se pelo Modelo 3, como modelo empírico, devido aos Modelos 4 e 5 apresentarem menor percentual de explicação da variável dependente. As demais análises referentes ao modelo empírico são apresentadas no item a seguir.

4.3.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras verticais residenciais

O modelo para estimar a geração de resíduos durante a produção de obras residenciais verticais foi elaborado a partir dos coeficientes parciais de regressão estimados na análise de regressão do Modelo 4 descrito anteriormente. A Equação 8 apresenta o modelo de estimativa adotado.

$$\begin{aligned}
 VR = & -5144,247 + (0,029 \times AT) + \\
 & (20,88 \times IeC) + (295,135 \times SP) + \\
 & (-689,030 \times R R) + (5661,252 \times T / T) + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{Equação 8}$$

VR = Volume total de resíduos

AT = Área total do edifício a construir, em m²;

IeC = Índice econômico de compacidade, calculado conforme apresentado no item 2.2.1; (continua)

SP = Sistema produtivo (escala de 1 a 3 conforme apresentado no item 3.2.2.3);

R R = Reaproveitamento de resíduos = 0 (não pratica reaproveitamento) ou 1 (pratica o reaproveitamento);

T/T = Tipo/ total (resultado da divisão no número de pavimentos tipo pelo total de pavimentos do edifício).

Para a análise de ajuste do Modelo empírico, inicialmente foi realizado o teste de normalidade dos resíduos. Com base nos resultados obtidos para resíduos não padronizados de p-valor = 0,192 e para resíduos studentizados de p-valor = 0,375 (Tabela 27), rejeitada a hipótese nula a um nível de significância $\alpha = 0,05$, pode-se afirmar que os resíduos provêm de uma população normal.

Tabela 27 – Resultados teste de normalidade dos resíduos da regressão

	Teste de Normalidade					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	p-valor	Statistic	df	p-valor
Resíduos não padronizados	0,141	20	0,200	0,935	20	0,192
Resíduos studentizados	0,124	20	0,200	0,950	20	0,375

Na Figura 24 observa-se no gráfico a proximidade dos pontos em relação à reta, este fato corrobora com a verificação de normalidade dos valores do Modelo.

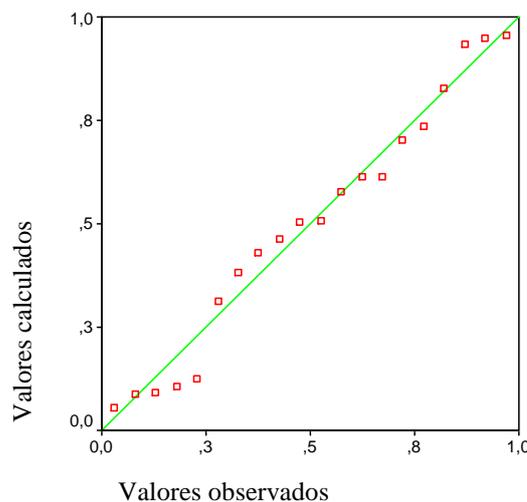
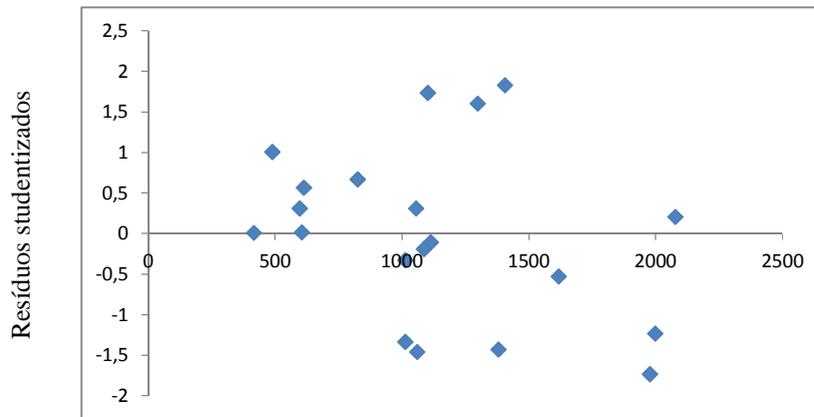


Figura 24 - Gráfico P -P Plot para resíduos studentizados

Já no gráfico da Figura 25 é demonstrada a dispersão dos valores preditos ajustados ao Modelo em relação aos resíduos studentizados. Neste gráfico é possível observar

a distribuição aleatória dos pontos o que indica relação linear entre os dados e a adequação do teste adotado.



Valores de volume de RCD gerado ajustado (normalizado)
Figura 25 – Gráfico variável “Y” ajustada x resíduos studentizados

Os gráficos de dispersão apresentados nas Figuras 24, 25 e 26 foram elaborados no intuito de visualizar a ocorrência de tendências em cada uma das variáveis independentes (X) tipo quantitativa do Modelo.

No gráfico da Figura 26, não é possível visualizar qualquer tipo de tendência nos dados da variável independente área total x resíduos studentizados.

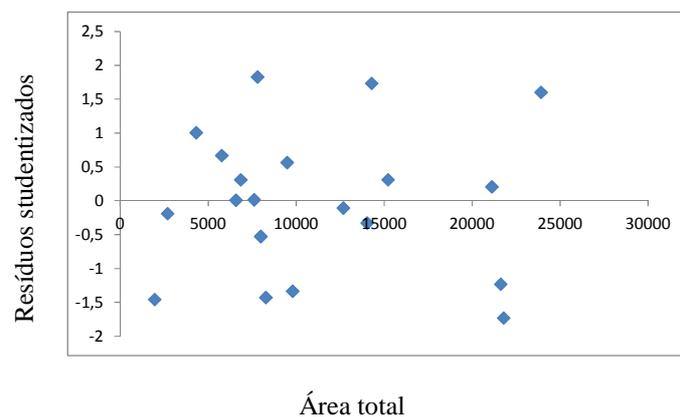


Figura 26 - Gráfico área total x resíduos studentizados

Da mesma forma em que ocorreu com a variável área total, observa-se na Figura 27 que a distribuição da variável independente tipo/total apresentou-se aleatória.

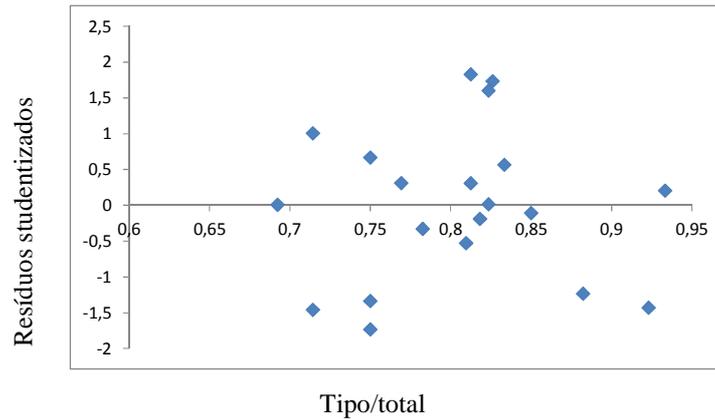


Figura 27 - Gráfico tipo/total x resíduos studentizados

Na Figura 28 a observa-se que a distribuição aleatória se mantém para a variável independente IeC.

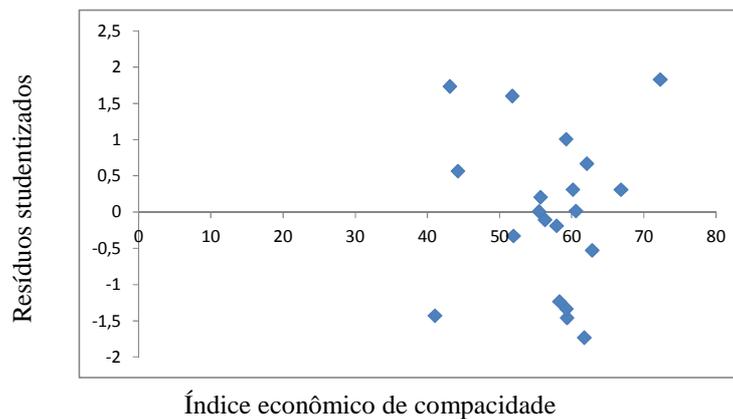


Figura 28 - Gráfico IeC x resíduos studentizados

Frente aos resultados encontrados nos testes de normalidade dos resíduos e nos gráficos de dispersão apresentados considera-se o Modelo adotado como estatisticamente válido.

4.3.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas

Para verificar a capacidade de predição do modelo proposto foi realizada a operação inversa, onde foram lançados na equação os valores das variáveis independentes utilizadas para verificação da aproximação do resultado ao valor real coletado. Os dados utilizados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Dados utilizados para o cálculo da estimativa

ID	Área total (m ²)	IeC	Sistema produtivo (1 a 3)	Reaproveitamento de resíduos em obra	Relação Tipo/total pav.
1	7994,53	62,83	2	0	0,81
2	14297,00	43,12	2	0	0,83
3	9496,70	44,23	2	1	0,83
4	12684,08	56,31	2	1	0,85
5	5776,96	62,09	1	0	0,75
6	4326,08	59,23	1	0	0,71
7	1969,42	59,35	2	0	0,71
8	6588,00	55,47	1	0	0,69
9	9807,00	59,27	1	0	0,75
10	7619,94	60,58	1	1	0,82
11	6856,52	66,82	1	1	0,81
12	23920,33	51,77	3	1	0,82
13	15230,89	60,17	3	1	0,77
14	21632,44	58,31	3	1	0,88
15	21129,08	55,69	3	1	0,93
16	14038,61	51,93	3	1	0,78
17	2700,00	57,91	1	0	0,82
18	8283,00	41,05	2	1	0,92
19	21794,63	61,74	2	0	0,75
20	7812,24	72,27	2	0	0,81

Na Tabela 29 observam-se os resultados de geração de resíduos informados pelas empresas, os resultados de geração estimados pelo modelo proposto e, por fim, um comparativo com estimativas realizadas, sendo elas: índice de geração de resíduos de 150 kg/m² proposto por Pinto (1999) para construções novas, a estimativa proposta por Mália, Brito e Bravo (2011) com taxa de geração de RCD no valor de 115 kg/m² construído para edificações residenciais novas com estrutura em concreto armado e Saéz et al. (2012) que propõem o indicador i_1 estabelecendo o valor de 0,0746 m³/m² construído. Para possibilitar a melhor compreensão das diferenças encontradas, as estimativas com resultados em kg/m² foram posteriormente transformadas em m³ através do valor de densidade aparente publicado por Pinto e González (2005) no valor de 1,2 t/m³.

Para facilitar a avaliação dos resultados, os valores mais próximos (menores diferenças) ao valor informado pelas empresas estão destacados na Tabela 29.

Tabela 29 – Comparativo entre os resultados obtidos de geração de resíduos pelo modelo proposto com o volume de resíduos informados pelas empresas e pelos indicadores de estimativa propostos por Pinto (1999); Mália et al. (2011) e Saéz et al. (2012)

ID	Volume de resíduo informado pelas empresas (m³)	Modelo de estimativa proposto no trabalho		Indicador proposto por Pinto (1999)		Indicador proposto Mália et al. (2011)		Indicador proposto Saéz et al. (2012)	
		Volume estimado (m³)	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m³)	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m³)	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m³)	Diferença (%) em relação ao volume informado
1	1410,0	1572,7	11,54%	999,3	-29,13%	766,1	-45,7%	596,4	-57,7%
2	1890,0	1437,7	-23,93%	1787,1	-5,44%	1370,1	-27,5%	1066,6	-43,6%
3	840,0	673,7	-19,80%	1187,1	41,32%	910,1	8,3%	708,5	-15,7%
4	1074,0	1112,6	3,59%	1585,5	47,63%	1215,6	13,2%	946,2	-11,9%
5	1074,0	860,8	-19,85%	722,1	-32,76%	553,6	-48,5%	431,0	-59,9%
6	872,0	556,8	-36,15%	540,8	-37,99%	414,6	-52,5%	322,7	-63,0%
7	400,0	786,2	96,55%	246,2	-38,46%	188,7	-52,8%	146,9	-63,3%
8	420,0	419,4	-0,14%	823,5	96,07%	631,4	50,3%	491,5	17,0%
9	500,0	918,9	83,78%	1225,9	145,18%	631,4	26,3%	731,6	46,3%
10	612,0	609,9	-0,34%	952,5	55,64%	730,2	19,3%	568,4	-7,1%
11	736,0	655,7	-10,90%	857,1	16,45%	657,1	-10,7%	511,5	-30,5%
12	1952,0	1488,9	-23,72%	2990,0	53,18%	2292,4	17,4%	1784,5	-8,6%
13	1188,0	1104,9	-6,99%	1903,9	60,26%	1459,6	22,9%	1136,2	-4,4%
14	1512,0	1892,2	25,15%	2704,1	78,84%	2073,1	37,1%	1613,8	6,7%
15	2164,0	2111,4	-2,43%	2641,1	22,05%	2024,9	-6,4%	1576,2	-27,2%
16	876,0	974,2	11,20%	1754,8	100,32%	1345,4	53,6%	1047,3	19,6%
17	1012,0	1070,3	5,77%	337,5	-66,65%	258,8	-74,4%	201,4	-80,1%
18	712,0	1080,1	51,69%	1035,4	45,42%	793,8	11,5%	617,9	-13,2%
19	1165,0	1613,1	38,47%	2724,3	133,85%	2088,7	79,3%	1625,9	39,6%
20	2252,0	1781,3	-20,90%	976,5	-56,64%	748,7	-66,8%	582,8	-74,1%

Observa-se que das vinte obras, os resultados estimados pelo modelo são mais próximos ao volume de resíduos gerado informado pelas empresas em onze obras (55% da amostra). Os indicadores propostos por Pinto (1999), Mália et al. (2011) e Saéz et al. (2012) obtiveram maior aproximação ao volume de resíduo informado pelas empresas em apenas duas, quatro e três obras respectivamente, totalizando nove obras.

A maior diferença de estimativa de geração de resíduo pelo modelo proposto ocorreu na obra 9, (+83,78%), e a menor na obra 8 (-0,14%). Destaca-se que em 75% das obras, o modelo proposto obteve estimativa com variação inferior a 30% do volume de resíduos gerado informado pelas empresas, e destas, em seis obras a diferença não chegou a 10%.

Embora as amostras 7 e 9 não tenham se apresentado como *outliers* nas análises realizadas, estas demonstraram desvios elevados em relação ao volume de resíduos gerado informado pelas empresas. Uma justificativa para tal variação seria um possível erro na contabilização do número de caçambas por parte das empresas uma vez que na obra 9, por exemplo, esta informação foi buscada em arquivos físicos através das notas fiscais do serviço de coleta emitidas no período da construção.

Frente ao elevado desvio encontrado nestas duas amostras optou-se por retirá-las do banco de dados para realização de novas análises a fim de buscar o melhor ajustamento do Modelo.

4.3.7 Ajustamento do Modelo

No intuito de buscar o aprimoramento do modelo decidiu-se por retirar do banco de dados as amostras 7 e 9, e foi então repetido todo o processo de análise estatística realizado anteriormente neste novo banco de dados, agora com 18 amostras, conforme apresentado nos itens subsequentes.

4.3.7.1 Análise descritiva dos dados – excluídos os dados das obras 7 e 9

Foi realizada uma nova análise descritiva dos dados onde se observam os valores mínimos e máximos de cada uma das variáveis em estudo, as médias, desvio padrão e o coeficiente de variação das mesmas (Tabela 30).

Tabela 30 - Estatística descritiva da amostra (18 obras)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Nº de pavimentos	18	7,00	23,00	15,8889	4,28251	27,0%
Tipo / Total pav.	18	0,69	0,93	0,8115	0,06356	7,8%
Área total	18	2.700,00	23.920,33	11.787,8350	6.626,06531	56,2%
Área pavimento tipo	18	230,51	696,57	456,7006	114,20037	25,0%
IeC	18	41,05	72,27	56,7506	8,07669	14,2%
Densidade de paredes internas	18	0,20	0,58	0,4143	0,12277	29,6%
Organização do canteiro	18	2,00	5,00	3,5000	0,70711	20,2%
Sistema produtivo	18	1,00	3,00	1,9444	0,80237	41,3%
Volume de RCD (m ³)	18	420,00	2.252,00	1.208,9444	544,26512	45,0%
Geração média (m ³ xm ²)	18	0,05	0,37	0,1287	0,08687	67,5%

Observa-se que houve discreta redução do coeficiente de variação de algumas das variáveis em relação ao banco de dados inicial (20 obras), o dado de índice de geração de RCD (m³/m²) apresentou pequena elevação no coeficiente de variação de 66,7% para 67,5%,

e as variáveis IeC e densidade de paredes internas também demonstraram pequena elevação em relação ao verificação anterior.

4.3.7.2 Análise da variável dependente (Y) - excluídos os dados das obras 7 e 9

Um novo teste de normalidade foi aplicado sobre os dados da variável dependente (Y). Os resultados para os testes são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Teste de normalidade variável dependente (18 obras)

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	p-valor	Statistic	df	p-valor
VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS	0,182	18	0,118	0,922	18	0,142

Com o resultado encontrado no teste Shapiro-Wilk de p-valor= 0,142 não se rejeita a hipótese de normalidade para a variável dependente.

Quanto à presença de *outliers*, o gráfico *boxplot* apresentado na Figura 29 demonstra que não existe presença de *outliers* na amostra.

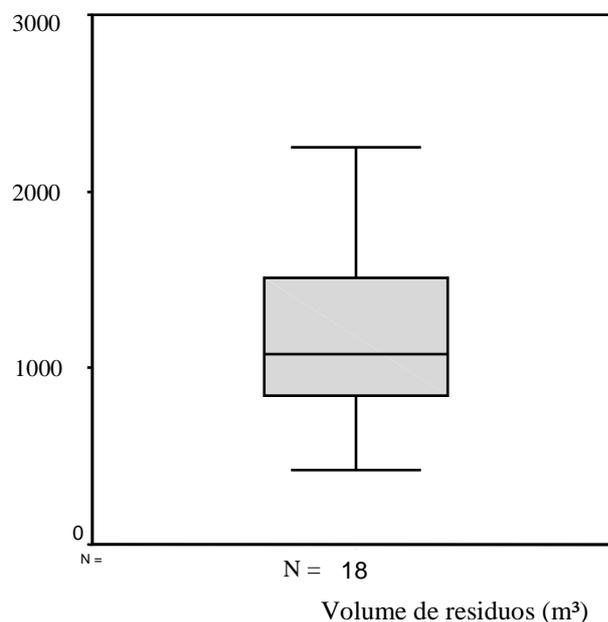


Figura 29 - Gráfico *boxplot* da variável dependente – volume de resíduos gerados (18 obras)

O gráfico de probabilidade normal da Figura 30 comprova a distribuição normal da variável devido à proximidade dos pontos e sua aleatoriedade em relação à reta ascendente.

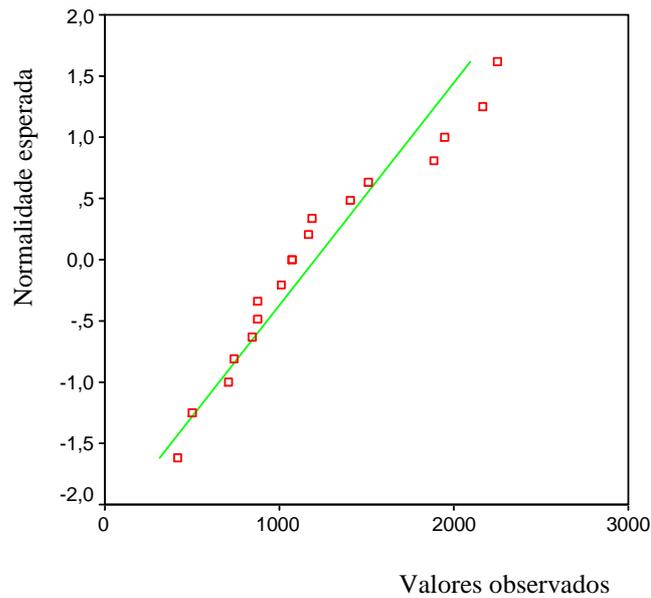


Figura 30 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q plot para o volume de resíduos (18 obras)

A Figura 31 apresenta a dispersão dos dados em relação à reta horizontal, onde aleatoriedade da distribuição em relação à reta aponta a normalidade dos dados.

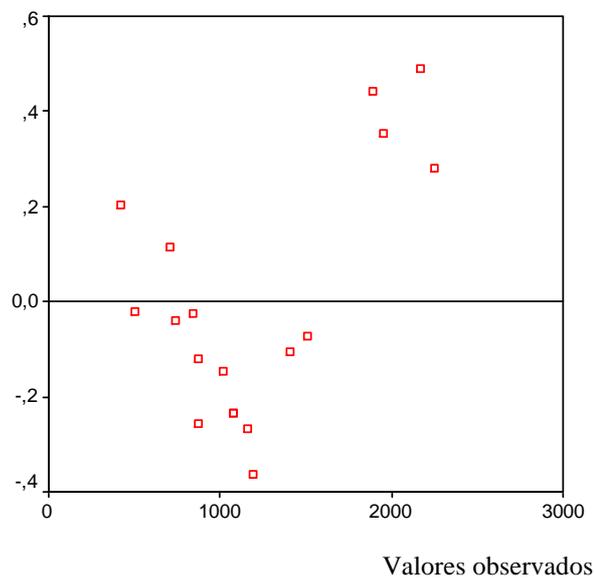


Figura 31 - Gráfico tendência normal para as 18 obras (detrended normal q-q plot)

4.3.7.3 Análise das variáveis independentes - excluídos os dados das obras 7 e 9

Uma nova análise das variáveis independentes foi realizada no intuito de identificar alterações no banco de dados ocasionadas pela redução do número de amostras.

Foram elaborados gráficos de dispersão dos dados semelhantes aos apresentados anteriormente, observou-se que não ocorreram alterações expressivas no comportamento dos dados, apenas a variável área do pavimento tipo apresentou aumento no coeficiente de determinação e redução da dispersão dos dados conforme Figura 32.

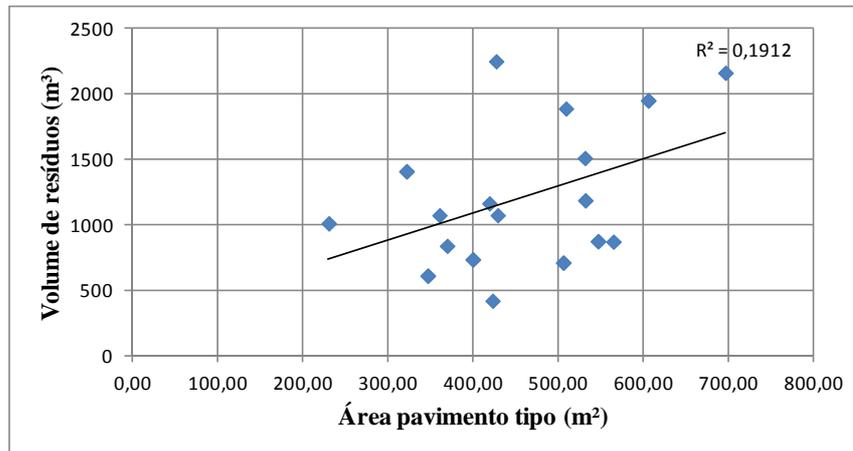


Figura 32 - Gráfico da variável área do pavimento tipo

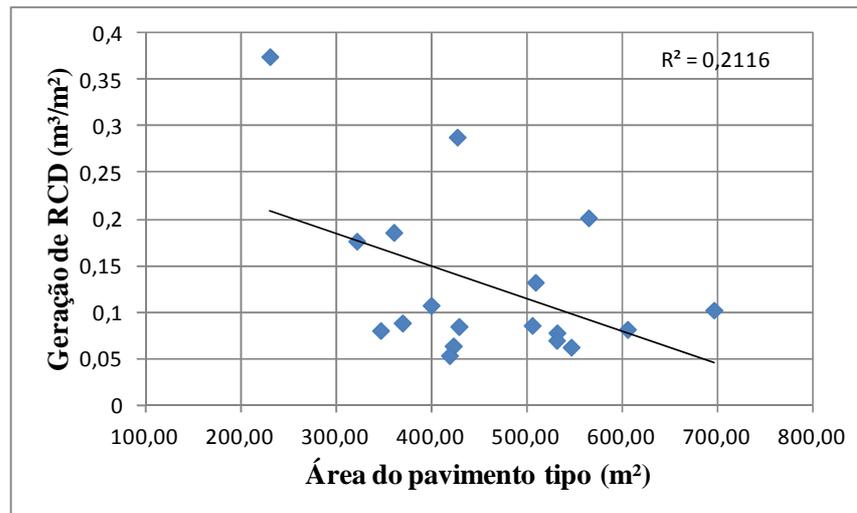


Figura 33 - Gráfico índice de geração de RCD x área do pavimento tipo

Quanto à análise de correlação entre as variáveis a Tabela 32 demonstra valores de correlação Pearson para as variáveis em estudo.

Tabela 32 – Valores de correlação Pearson entre as variáveis independentes

	Nº de pavimentos	Tipo / Total	Área total	Área do pav. Tipo	IeC	Densidade de paredes	Organização do canteiro	Sistema produtivo	Reaproveitamento RCD
Nº Pavimentos	1	0,374	0,283	0,016	-0,214	-0,055	-0,136	0,426	0,325
Tipo/Total	0,374	1	0,334	0,267	-0,342	-0,195	-0,222	0,452	0,577
Área total	0,283	0,334	1	0,651	-0,176	-0,507	0,034	0,817	0,400
Área tipo	0,016	0,267	0,651	1	-0,279	-0,564	0,382	0,670	0,400
IeC	-0,214	-0,342	-0,176	-0,279	1	-0,088	-0,160	-0,249	-0,294
Densidade de paredes	-0,055	-0,195	-0,507	-0,564	-0,088	1	-0,238	-0,656	-0,485
Organização do canteiro	-0,136	-0,222	0,034	0,382	-0,160	-0,238	1	0,156	-0,163
Sistema produtivo	0,426	0,452	0,817	0,670	-0,249	-0,656	0,156	1	0,510
Reaproveitamento de RCD	0,325	0,577	0,400	0,400	-0,294	-0,485	-0,163	0,510	1

Na Tabela 32 observam-se valores limites de correlação positiva de 0,817 para a (área total x sistema produtivo) e correlação negativa de -0,656 (densidade de paredes x sistema produtivo). A partir dos resultados da análise de correlação é possível constatar que ocorreram casos de correlações altas para as variáveis: densidade de paredes, sistema produtivo, área total e área do pavimento tipo, o que indica que algumas destas variáveis podem estar em multicolineariedade.

4.3.7.4 Análise de regressão

A nova análise de regressão foi executada testando inicialmente todas as variáveis independentes a fim de buscar o melhor ajuste do modelo. Para os testes foi mantido o nível de significância $\alpha = 0,05$.

As Tabelas 35 e 36 apresentam os resultados obtidos na análise de regressão com todas as variáveis, denominada Modelo 7. Observa-se que o valor obtido de coeficiente de determinação ajustado foi de R^2 ajustado=0,581 porém diversas variáveis apresentaram valores altos (p-valor) para o teste t indicando a necessidade de redução nas variáveis.

Tabela 33 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 7 (18 obras)

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
7	0,803	0,581	352,34193	3,618	0,042

Tabela 34 - Coeficientes do Modelo 7

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Constante	-5396,882	2181,311	0,038
Nº de pavimentos	17,373	26,067	0,524
Tipo/total	5013,387	1837,708	0,026
Área total	,013	0,025	0,626
Modelo 7 Área do pavimento tipo	1,600	1,297	0,252
IeC	23,714	13,348	0,114
Densidade de paredes	2,810	1204,754	0,998
Organização do canteiro	1,423	160,598	0,993
Sistema produtivo	242,729	265,367	0,387
Reaproveitamento de resíduos	-793,403	257,457	0,015

Prosseguindo as análises foram retiradas as variáveis densidade de paredes internas e organização do canteiro. Os resultados encontrados são apresentados nas Tabelas 37 e 38 e compõem o Modelo 8.

Tabela 35 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 8 (18 obras)

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
8	0,803	0,665	315,14575	5,815	0,007

Tabela 36 - Coeficientes do Modelo 8

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Constante	-5387,231	1561,045	0,006
Nº de pavimentos	17,384	22,454	0,457
Tipo/total	5009,713	1569,100	0,010
Modelo 8 Área total	0,012	0,021	0,561
Área do pavimento tipo	1,605	1,048	0,157
IeC	23,680	10,466	0,047
Sistema produtivo	242,931	202,087	0,257
Reaproveitamento de resíduos	-794,202	197,955	0,002

Observa-se que houve aumento do R² ajustado para 0,665 e também houve aprovação dos regressores pelo teste F. Porém algumas variáveis ainda não se apresentam significativas e optou-se então por retirar as variáveis, área total e número de pavimentos chegando-se ao Modelo 9 apresentado nas Tabelas 39 e 40.

Tabela 37 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 9 (18 obras)

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
9	0,784	0,694	301,13260	8,707	0,001

Tabela 38 - Coeficientes do Modelo 9

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Constante	-5202,886	1452,963	0,004
Tipo/total	5138,519	1488,328	0,005
Modelo 9 Área do pavimento tipo	1,411	0,882	0,136
IeC	22,968	9,864	0,038
Sistema produtivo	375,155	135,364	0,017
Reaproveitamento de resíduos	-783,296	188,219	0,001

O Modelo 9 demonstrou os melhores resultados dentre as análises realizadas, tanto com o banco de dados completo quanto com o banco de dados sem as obras 7 e 9. Nesta análise obteve-se R² ajustado de 0,694, o teste F comprovou a validade dos regressores em conjunto e relativo ao teste t das variáveis independentes isoladas, as variáveis tipo/total, IeC, sistema produtivo e reaproveitamento de resíduos se apresentaram significativas ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

Para verificar a possibilidade de melhoria do modelo retirou-se a variável área do pavimento tipo, pois esta foi à única que não se mostrou significativa ao nível de significância adotado. O modelo obtido foi o Modelo 10 (Tabelas 41 e 42) onde se observa que houve redução no coeficiente R² ajustado.

Tabela 39 - Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 10 (18 obras)

Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
10	0,738	0,657	318,64383	9,149	0,001

Tabela 40 - Coeficientes do Modelo 10

	Coeficiente (β)	Erro padrão	p-valor
Constante	-4408,612	1444,782	0,009
Tipo/total	4804,907	1559,320	0,009
Modelo 10 IeC	20,349	10,293	0,070
Sistema produtivo	503,726	115,216	0,001
Reaproveitamento de resíduos	-748,379	197,819	0,002

Tendo em vista a redução do nível de explicação do Modelo 10, optou-se pelo Modelo 9, como modelo empírico, devido aos demais apresentarem menor percentual de explicação da variável dependente. As demais análises referentes ao modelo empírico são apresentadas no item a seguir.

4.3.7.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras residenciais verticais (ajustado)

A partir da retirada das amostras 7 e 9 do banco de dados inicial obteve-se um novo modelo de estimativa que foi elaborado a partir dos coeficientes parciais de regressão estimados na análise de regressão do Modelo 9 descrito anteriormente. Ressaltando que houve a alteração de uma das variáveis do modelo, área do pavimento tipo, que se mostrou mais significativa neste modelo do que a área total construída (presente no modelo anterior do item 4.3.7.5). A Equação 9 apresenta o modelo de estimativa adotado.

$$VR = -5202,886 + (5138,519 \times T / T) + (1,411 \times ATP) + (22,968 \times IeC) + (375,155 \times SP) + (-783,296 \times R R) + \varepsilon \quad \text{Equação 9}$$

VR = Volume total de resíduos

T/T = Tipo/ total (resultado da divisão no número de pavimentos tipo pelo total de pavimentos do edifício).

ATP = Área do pavimento tipo do edifício a construir, em m²;

IeC = Índice econômico de compacidade, calculado conforme apresentado no item 2.2.1;

SP = Sistema produtivo (escala de 1 a 3 conforme apresentado no item 3.2.2.3);

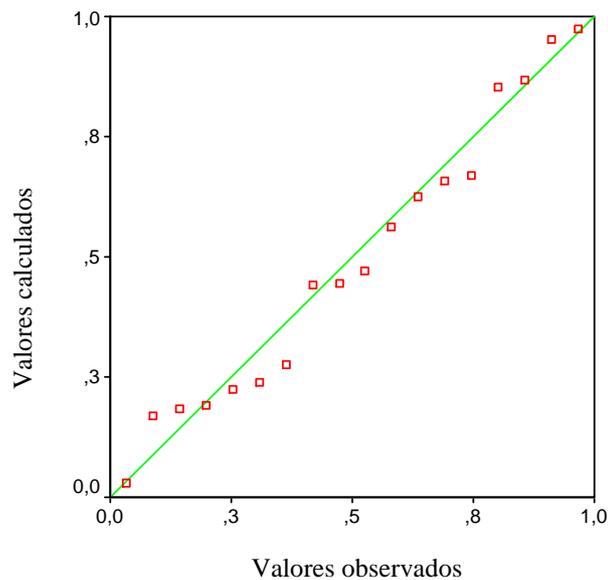
R R = Reaproveitamento de resíduos = 0 (não pratica reaproveitamento) ou 1 (pratica o reaproveitamento);

Seguiu-se com a análise do ajustamento do Modelo empírico através do teste de normalidade dos resíduos. Com base nos resultados obtidos para resíduos não padronizados de p-valor = 0,866 e para resíduos studentizados de p-valor = 0,774 (Tabela 41), rejeita-se a hipótese nula a um nível de significância $\alpha = 0,05$ e se comprova que os resíduos provêm de uma população normal.

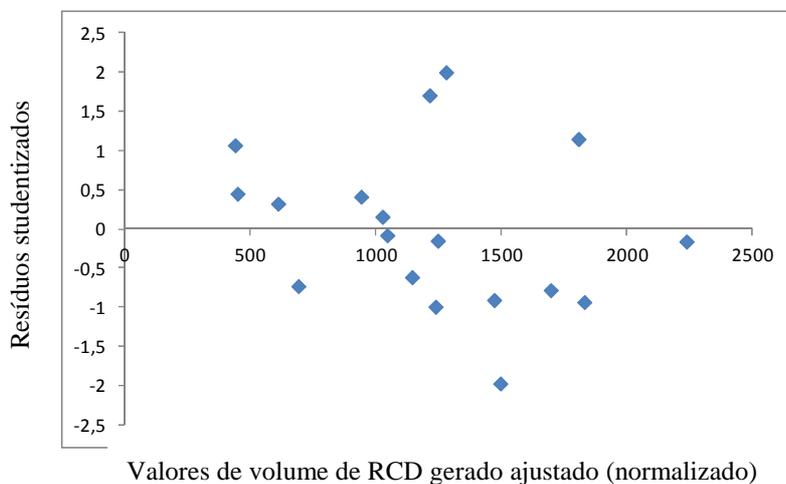
Tabela 41 – Resultados teste de normalidade dos resíduos da regressão

	Teste de Normalidade					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	p-valor	Statistic	df	p-valor
Resíduos não padronizados	0,106	18	0,200	0,974	18	0,866
Resíduos studentizados	0,113	18	0,200	0,969	18	0,774

Na Figura 34 é apresentado o gráfico de probabilidade normal dos resíduos, onde pode-se notar que os dados encontram-se próximos a reta.

**Figura 34 - Gráfico P -P Plot para resíduos studentizados**

Já no gráfico da Figura 35 nota-se a distribuição aleatória dos pontos o que indica relação linear entre os dados e a adequação do modelo.

**Figura 35 – Gráfico variável “Y” ajustado x resíduos studentizados**

No gráfico da Figura 36 é apresentada a relação entre a variável independente área do pavimento tipo e os resíduos studentizados, nele é possível visualizar a aleatoriedade dos dados, o que é benéfico para o modelo.

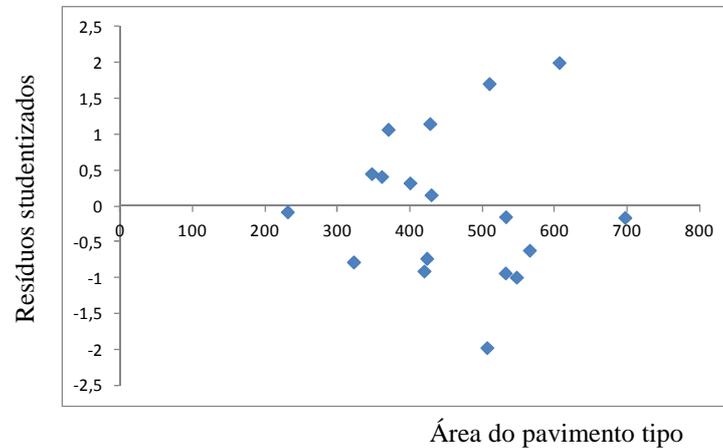


Figura 36 - Gráfico área do pavimento tipo x resíduos studentizados

Observou-se na Figura 37 que a distribuição da variável independente tipo/total em relação aos resíduos apresentou-se aleatória com alguns pontos destacados.

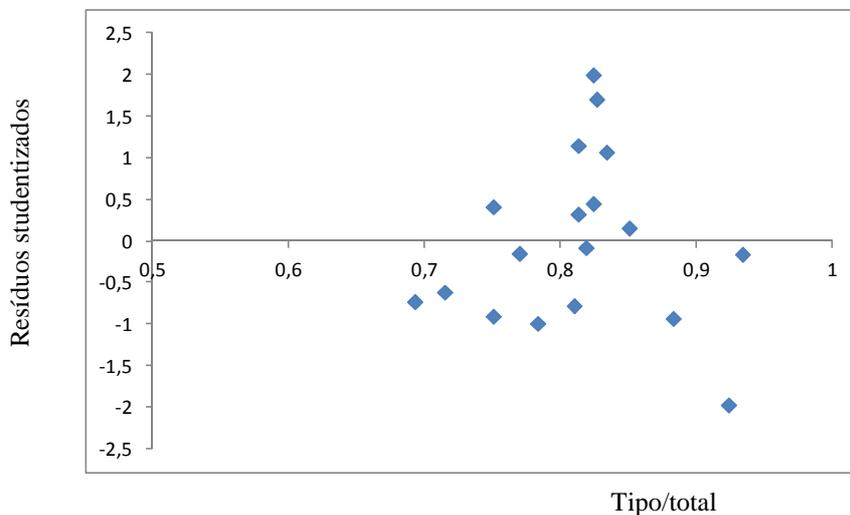


Figura 37 - Gráfico tipo/total x resíduos studentizados

A variável IeC apresentada no gráfico da Figura 38 demonstra dispersão aleatória porém assim como no gráfico anterior (Figura 37) observam-se pontos discretamente destacados dos demais.

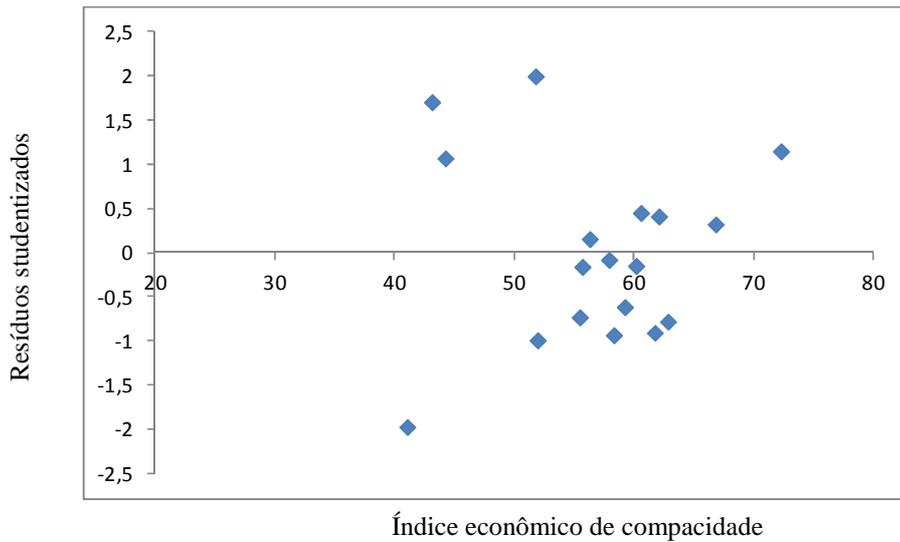


Figura 38 - Gráfico IeC x resíduos studentizados

Frente aos resultados encontrados nos testes de normalidade dos resíduos e nos gráficos de dispersão apresentados considera-se o Modelo adotado como estatisticamente válido.

4.3.7.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas

Assim como no item 4.3.6, foi realizada a aplicação do novo modelo obtido, a fim de avaliar e comparar o modelo proposto com algumas das estimativas encontradas na literatura. Para facilitar a avaliação dos resultados, os valores mais próximos (menores diferenças) ao valor informado pelas empresas estão destacados na Tabela 42.

Tabela 42 - Comparativo entre os resultados obtidos de geração de resíduos pelo modelo proposto com o volume de resíduos informados pelas empresas e pelos indicadores de estimativa propostos por Pinto (1999); Mália et al. (2011) e Saéz et al. (2012)

ID	Volume de resíduo informado pelas empresas (m ³)	Modelo de estimativa proposto no trabalho		Indicador proposto por Pinto (1999)		Indicador proposto Mália et al. (2011)		Indicador proposto Saéz et al. (2012)	
		Volume estimado (m ³)	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m ³)	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m ³)	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m ³)	Diferença (%) em relação ao volume informado
1	1410,0	1604,5	13,79%	999,3	-29,13%	766,1	-45,7%	596,4	-57,7%
2	1890,0	1501,2	-20,57%	1787,1	-5,44%	1370,1	-27,5%	1066,6	-43,6%
3	840,0	583,7	-30,51%	1187,1	41,32%	910,1	8,3%	708,5	-15,7%
4	1074,0	1030,5	-4,05%	1585,5	47,63%	1215,6	13,2%	946,2	-11,9%
5	1074,0	961,1	-10,51%	722,1	-32,76%	553,6	-48,5%	431,0	-59,9%
6	872,0	1000,2	14,70%	540,8	-37,99%	414,6	-52,5%	322,7	-63,0%
8	420,0	600,5	42,98%	823,5	96,07%	631,4	50,3%	491,5	17,0%
10	612,0	501,4	-18,08%	952,5	55,64%	730,2	19,3%	568,4	-7,1%
11	736,0	662,9	-9,93%	857,1	16,45%	657,1	-10,7%	511,5	-30,5%
12	1952,0	1414,8	-27,52%	2990,0	53,18%	2292,4	17,4%	1784,5	-8,6%
13	1188,0	1224,6	3,08%	1903,9	60,26%	1459,6	22,9%	1136,2	-4,4%
14	1512,0	1762,5	16,57%	2704,1	78,84%	2073,1	37,1%	1613,8	6,7%
15	2164,0	2197,1	1,53%	2641,1	22,05%	2024,9	-6,4%	1576,2	-27,2%
16	876,0	1125,1	28,44%	1754,8	100,32%	1345,4	53,6%	1047,3	19,6%
17	1012,0	1031,9	1,97%	337,5	-66,65%	258,8	-74,4%	201,4	-80,1%
18	712,0	1164,1	63,50%	1035,4	45,42%	793,8	11,5%	617,9	-13,2%
19	1165,0	1410,8	21,10%	2724,3	133,85%	2088,7	79,3%	1625,9	39,6%
20	2252,0	1985,2	-11,85%	976,5	-56,64%	748,7	-66,8%	582,8	-74,1%

Na Tabela 42 é possível observar que das dezoito obras, os resultados estimados pelo modelo 9 são mais próximos ao volume de resíduos gerado informado pelas empresas em dez obras (55% da amostra) igualando-se ao percentual dos resultados alcançados com o modelo anterior (item 4.3.6). Os indicadores, obtidos na literatura, propostos por Pinto (1999), Mália et al. (2011) e Saéz et al. (2012) superaram o modelo proposto em aproximação do volume de resíduo informado pelas empresas em uma, duas e cinco obras respectivamente, totalizando oito obras.

Com este modelo foi possível obter em 15 das obras, ou seja, 83,33% das obras em estudo, estimativa com variação inferior a 30% do volume de resíduos gerados informado pelas empresas, o que pode ser considerado um avanço em relação ao modelo anterior (item 4.3.6). Além disso, em cinco obras a diferença não chegou a 10%.

A maior diferença de estimativa de geração de resíduo pelo modelo proposto ocorreu na obra 18, (+63,5%), e a menor na obra 13 (3,08%).

Considera-se que o ajuste realizado no banco de dados retirando as obras 7 e 9 possibilitou o aprimoramento da estimativa, pois o novo modelo além de apresentar aumento do coeficiente de determinação (em relação ao modelo inicial obtido a partir das 20 obras participantes do estudo), demonstrou redução na variação da estimativa em relação ao volume informado pelas empresas.

5 CONCLUSÃO

A partir de uma amostra de vinte obras residenciais verticais, esse trabalho investigou a influência de dois grandes grupos citados frequentemente na literatura como influentes na geração de RCD: projeto arquitetônico e produção.

Referente às características relacionadas ao processo de projeto, inicialmente foram consideradas como variáveis: densidade de paredes internas (m/m^2), a relação entre o número de pavimentos tipos e o número total de pavimentos (tipo/total), o índice econômico de compacidade (IeC) e área total do edifício (m^2). Em relação às características da produção, num primeiro momento foram consideradas as variáveis: organização do canteiro, personalização de apartamentos, reaproveitamento de resíduos e o sistema produtivo.

Através de análise estatística, verificou-se que, em relação à geração de resíduos, as variáveis de projeto “tipo/total”, IeC e área do pavimento tipo se mostraram mais influentes, sendo que “tipo/total” e IeC significativas estatisticamente ao nível de significância de $\alpha = 0,05$ adotado nas análises. A variável “densidade de paredes internas” se mostrou a menos influente. Dentre as variáveis relacionadas ao processo produtivo, as variáveis “reaproveitamento de resíduos no canteiro” e “sistema produtivo” se mostraram as mais influentes, sendo ambas estatisticamente significativas ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

No geral, as variáveis que demonstraram maior influência sobre a geração de resíduos na tipologia de edifício residencial vertical foram: o percentual de participação dos pavimentos tipo sobre o total de pavimentos do edifício (tipo/total), reaproveitamento de resíduos no canteiro, índice econômico de compacidade, sistema produtivo e área do pavimento tipo.

O modelo de estimativa adotado (item 4.3.7) obteve coeficiente de determinação (R^2) de 0,784, e seu coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) atingiu 0,694, demonstrando que o modelo adotado é capaz de prever aproximadamente 69% da geração de resíduos em obras residenciais verticais.

Os resultados de volume de resíduo estimados através do modelo proposto pelo trabalho, se comparados aos valores de estimativa baseados na taxa de geração de resíduo por área de construção, indicam que as variáveis utilizadas melhoram a estimativa. Ou seja, além da área de construção (parâmetro amplamente utilizado para estimar resíduos), a forma do edifício, expressa através do índice de compacidade, e a relação de pavimentos tipo em

relação ao total de pavimento também são características de projeto que influenciam a geração de resíduo, assim como o sistema produtivo e o reaproveitamento de resíduos no canteiro.

Por mais que tenham sido encontradas diferenças nos valores estimados pelo modelo em relação ao volume de resíduo ocorrido nas obras estudadas, informado pelas empresas, acredita-se que o modelo possa ser útil para estimar a quantidade de resíduos durante a fase de produção, tendo em vista a complexidade desta tarefa. Espera-se que a informação da quantidade de resíduos gerada seja utilizada pelos gestores como parâmetro de controle na busca da diminuição deste impacto ambiental.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho foi elaborado no intuito de investigar e propor um método para estimativas de geração de resíduos de construção, considerando a realidade das construções locais.

A metodologia proposta, assim como os resultados obtidos, demonstram que é possível aprimorar os índices praticados atualmente adicionando características de projeto e produção a um nível regional de forma a contemplar o melhor possível a realidade e o contexto local.

Sugere-se então ampliar o tamanho da amostra, o que vai garantir estimativas ainda mais condizentes com a realidade, e adaptar a metodologia proposta para outras tipologias de construção permitindo estimativas relacionadas à tipologia de edificação a ser executada.

E por fim aprofundar os estudos buscando caracterizar e quantificar os resíduos por etapa de construção (infraestrutura, estrutura, vedações e etc.).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMAT E FGV. **O Perfil da Cadeia Produtiva da Construção e da Indústria de Materiais e Equipamentos**. São Paulo, 2012.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L. DE; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. DE. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra. In: FORMOSO, C. T. e INO, A. (Org). **Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional** (Coletânea Habitare, 2). Porto Alegre: ANTAC, 2003, cap. 10, p. 225-249.

ÂNGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ÂNGULO, S.C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Recomendações básicas de sustentabilidade para projetos de arquitetura**. Disponível em <http://www.cbcs.org.br/comitestematicos/projeto/artigos/recomendacoes_basicas-asbea.php> Acesso em 17/10/12.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15578-1. Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall*** – projeto e procedimentos executivos para montagem – parte 1 : requisitos para sistemas usados como paredes. Rio de Janeiro, 2009.

ARAÚJO, V. M. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. 2009. 228 f. Dissertação - Departamento de Engenharia de Construção Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

BARROW, M. **Project Britain: British life & Culture**. 2012. Disponível em:< <http://resources.woodlands-junior.kent.sch.uk/customs/questions/population.html>>. Acesso em: fev. de 2013.

BATALHA, V. I. **Breve Manual do SPSS / PASW 18.0**. Escola Superior Agrária de Coimbra. Coimbra. 2011.

BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P.D.M.; ABREU, A.G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2008.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. Managing the three aspects of production in construction. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 10. Gramado, 2002. **Proceedings...** Porto Alegre: UFRGS, 2002.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **Manual técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras**. Brasília: SEBRAE/DF. 48 p. 2007.

BOEHM, N.I. Taking Action on Construction Waste: An analysis of construction waste minimisation practices and their barriers. **Proceedings...** 2nd Conference: People and Buildings held at Graduate Centre, London Metropolitan University, London, UK, 18th September, 2012.

BOSSINK, B.A.G.; BROUWERS, H.J.H. Construction waste: quantification and source evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, V. 122, n° 1, p. 55-60. 1996.

BRÖNSTRUP, M. E. ; KERN, A. P.; KULAKOWSKI, M. P.; GONZÁLEZ, M. A. S.; FLACH, C. E. Diretrizes para implantação de um sistema de gerenciamento de RCD para o município de Gramado, RS. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela. **Anais...** XIII Entac. Porto Alegre: ANTAC, 2010. v. 1. p. 1-8

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002**. Ministério do Meio Ambiente.

COSTA, A. L. **Perdas na construção civil: uma proposta conceitual e ferramentas para prevenção**. 1999. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

COUTO NETO, A. G. **Construção civil sustentável: avaliação da aplicação do modelo de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do SINDUSCON-MG em um canteiro de obras - um estudo de caso**. 2007. 88p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília, 2011.

DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. **Survey of Arisings and Use of Alternatives to Primary Aggregates in England, 2005**, Construction, Demolition and Excavation Waste. London, United Kingdom. 2007.

DIRECTIVE 2008/98/EC, de 18 de Novembro de 2008. Waste Framework directive. Brussels, Belgium.

EKANAYAKE, L., OFORI, G. Construction material waste source evaluation. In: Strategies for a sustainable built environment. Pretoria, South Africa. pp. 35-1 to 35-6. 2000.

ESPAÑA. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Fev. de 2013. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Espanha>>. Acesso em: fev. de 2013.

ESPÍRITO SANTO, L. S. do. **Diagnóstico quanto à gestão do consumo de materiais nos canteiros de obras**. 2008. 195 f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.

EU (1997) **EU Waste Management Hierarchy**; Second Environmental Action Programme.

FABRÍCIO, M. M. Projeto simultâneo na construção de edifícios. 2002. 351f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

FANIRAN, O.O., CABAN, G. Minimizing waste on construction project sites. **Engineering Construction and Architectural Management** 5 (2), 182–188. 1998.

FORMOSO, C.T. ISATTO, E. L. HIROTA, E. H. Method for waste control in the building industry", **Proceedings...** IGLC-7, 7th Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, CA.1999.

FORMOSO, C.T.; SOIBELMANN, L.; CESARE, C.; ISATTO, E.L. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of construction engineering and management**. July/August, 2002.

FRAGA, M.F. **Panorama da geração de resíduos da construção civil em belo horizonte: medidas de minimização com base em projeto e planejamento de obras**. 2006. 75p. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006.

GEHLEN, J. **Construção da sustentabilidade em canteiros de obras** – um estudo no DF. 2008. 158 p. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2008.

GEHRKE, A. E. B. **Indicadores de sustentabilidade como ferramenta de apoio a gestão pública de resíduos da construção civil em municípios de pequeno porte**. 2012. 222 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONZÁLEZ, M.A.S. **Metodologia de avaliação de imóveis**. Novo Hamburgo: SGE, 2003.

ISATTO, E.L. et al. **Lean Construction**: Diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. SEBRAE/RS, 2000. Acesso em: 14/02/2013, disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/lean-construction-principios-basicos-e-exemplos-80714-1.asp>>.

JOHN, V.M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 p. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

KATZ, A. e BAUM, H. A Novel Methodology to Estimate the Evolution of Construction Waste in Construction Site. **Journal of Waste Management**, v. 31, n. 2, p. 353-358, 2010.

KERN, A. P. **Proposta de um modelo para o planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção civil**. 2005. 234 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

KEYS, A.; BALDWIN, A. Designing to encourage waste minimisation in the construction industry. **Loughborough University's Institutional Repository**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2134/4945>. 2000. Acesso em 06/12/2012.

KOSKELA, L. **An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction**. Thesis (Ph.D) - Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2000.

KRUGER, E. L. DRACH, P. R. C. EMMANUEL, R. CORBELLA, O. D. Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Revista Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 121-130, 2012.

KULATUNGA, U.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R.; RAMEEZDEEN, R. Attitudes and perceptions of construction workforce on construction waste in Sri Lanka. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Vol. 17 Iss: 1, pp.57 – 72. 2006.

LANTELME, E. M. V.; FORMOSO, C. T. Conceitos, princípios e práticas da medição de desempenho no setor da Construção Civil. In: FORMOSO, C. T. e INO, A. (Org). **Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional** (Coletânea Habitare, 2). Porto Alegre: ANTAC, 2003, cap. 11.1, p. 255-395.

LEAL, U. Sobras que valem uma obra. **TECHNE: Revista de Tecnologia da Construção**, v. 10, n. 55, p. 10-14, 2001. Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/sobras-que-valem-uma-obra-82261-1.aspx>. Acesso em: Agosto de 2013.

LIMA, P. R. B. **Consideração do projeto no desempenho dos sistemas construtivos e qualidade da edificação** – proposição de um modelo de banco de dados. 2005. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia de Estruturas - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2005.

MÁLIA, M.; BRITO, J.DE.; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 117-130, jul./set. 2011.

MÁLIA, M.A.B. **Indicadores de resíduos de construção e demolição**. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010

MAÑÀ I REIXACH, F.; SAGRERA I CUSCÓ, A.; GONZÁLEZ I BARROSO, J.M. **Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción**. Plan de Gestión de Residuos en las Obras de Construcción y Demolición, Programa Life. Cataluña: ITeC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña) Dirección general de Medioambiente. 2000

MANZIONE, L.; MELHADO, S. B. Porque os Projetos atrasam? Uma análise crítica da ineficácia do planejamento de projetos adotada no mercado imobiliário de São Paulo. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2007.

MARQUES, R.B. FEHR M. Resíduos Da Construção Civil Em Araguari-MG: Do Diagnóstico À Proposta De Um Modelo Gerencial Proativo. Universidade Federal de Uberlândia - SP. **IV Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Campo Grande, MS, Novembro de 2007.

MASCARÓ, J.L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5ª edição. Porto Alegre. Masquatro editora, 2010.

MATTOSINHO, C.; PIONÓRIO, P. Aplicação da Produção Mais Limpa na Construção Civil: Uma Proposta de Minimização de Resíduos na Fonte. **Proceedings... 2nd INTERNACIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION “Key Elements for a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change”**. São Paulo. 2009.

MINISTRY OF ENVIRONMENT AND RURAL AND MARINE AFFAIRS (2008) II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición para el período 2008-2015. Boletín Oficial del Estado. Spain: Spanish Government.

MIRANDA, L.F.R.; ÂNGULO, S.C.; CARELI, E.D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; HUBELE, N. F. **Estatística aplicada à engenharia**. 2. ed. São Paulo: LTC. 2004.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de Ferramenta Para Apoio à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição Com Uso de Geoprocessamento: caso Bauru, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, M. E. D; SALES, R.J.M.; OLIVEIRA, L.A.S; CABRAL, A.E.B. Diagnóstico da geração e da composição de RCD de Fortaleza/CE. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n.3, jul/set, p. 219-224. 2011.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. Architect and contractor attitudes to waste minimization. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. **Waste and Resource Management** 159. Issue WR2. p. 65–72. 2006.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. Architects’ perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, v. 28, p. 1147–1158. 2008.

Osmani, M. “Construction Waste”. In: LETCHER, T.M.; VALLERO D. A. (editores) **Waste: A Handbook for Management**, Elsevier, p.207-218. 2011.

PINTO, T.P. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: a experiência do Sinduscon – SP**. São Paulo, 2005.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 190 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

PINTO, T.P; GONZÁLEZ, J.L.R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Volume 1 - Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília : CAIXA, 2005.

PINTO, T. P. Panorama geral da gestão de resíduos da construção. In: A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2008. São Paulo. Disponível em:<<http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2011/residuos11072011/TarcisiodePaulaFilho.pdf>>

SÁEZ, P.V.; MERINO, M. Del R.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research**, v.30, n.2, p. 137–146, 2012.

SARDÁ. M.C. **Diagnóstico do resíduo da construção civil gerado no município de Blumenau – SC: potencialidades de uso em obras públicas**. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2003.

SCHEER S. et al. The scenario and trends in the Brazilian IT construction applications' experience, **ITCON Special Issue Construction information technology in emerging economies** v. 12, p. 193-206, 2007.

SCHNECK, E. R. **Tipo arquitetônico em empreendimentos habitacionais de interesse social: impactos ambientais, diferenças no custo e em quesitos de habitabilidade**. 2013. 168 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. 2013.

SOUZA, U.E.L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.

SOUZA, U. E. L. DEANA, D. F. **Levantamento do estado da arte: Consumo de materiais**. Documento 2.5. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.

SPOSTO, R. M.; OTERO, J. A.; CAMPOLINA. A. M. Análise de perdas x capacidade das empresas de implantação de sistemas de gestão da qualidade (SGQ): programa piloto realizado em 10 empresas construtoras do DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2º, FORTALEZA, CE, 2001. Artigo técnico, 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** 13p. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em 26 fev 2013.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 2001.

TERRY, M. **Waste minimization in the construction and demolition industry**. 78p. Capstone Project (Thesis of Bachelor of Civil & Environmental Engineering) – Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney, Sydney, 2004.

TESSARO, A.B.; SÁ, J. S. DE; SCREMIN, L.B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2012.

TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. 7ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. 1999. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1999.

WANG, Y; JINGKUANG, L. A case-study of critical success factors for construction and demolition waste management: the Pearl River Delta Region of China. **Waste Management**. 2012.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookmann, 2001. 2ed. 205p.

YUAN H.; CHINI A.R.; LU Y., SHEN L. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. **Waste Management** 32 521-531. 2012.

ANEXOS



DIRETRIZES DA SEMAM PARA ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (PGRSI)

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais para empreendimentos e atividades industriais deverá ser elaborado por técnico legalmente habilitado apresentado para análise da SEMAM, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica – ART.

1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

- a) Razão social
- b) Nome fantasia
- c) CNPJ
- d) Endereço
- e) Coordenadas Geográficas
- f) CEP
- g) Telefone/Fax
- h) Responsável Legal

2. INFORMAÇÕES GERAIS

- a) Planta baixa de localização e de implantação da área física e vizinhança do empreendimento, indicando a área construída e área total do terreno;
- b) Tipologia do empreendimento:
 - i) Descrição sucinta da atividade, com a apresentação do fluxograma descrevendo os procedimentos realizados no empreendimento;
 - ii) Número de funcionários;
 - iii) Horário de funcionamento;
 - iv) Indicação dos responsáveis técnicos: pelo estabelecimento, pela elaboração e aplicação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais;
 - v) Outras informações importantes, que caracterizem o estabelecimento, relacionadas a geração dos resíduos sólidos.

3. ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

- a) Devem ser avaliadas as quantidades, os tipos de resíduos gerados pela Empresa, suas condições de segregação, acondicionamento, transporte interno e externo, estocagem e formas de tratamento ou destinação final adotados, bem como os passivos ambientais a eles relacionados. Devem ser também analisados os custos envolvidos nas atividades de gerenciamento de resíduos.
- b) Identificação e quantificação dos pontos de geração de resíduos, classificação de cada resíduo de acordo com as normas técnicas vigentes;



- c) Descrição dos procedimentos adotados quanto à segregação, coleta, acondicionamento, armazenamento, transporte/transbordo e destinação final dos resíduos gerados, identificando os pontos de desperdício, perdas, não segregação, formas não adequadas de acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos;
- d) Ações preventivas direcionadas a não geração e minimização da geração de resíduos;
- e) Metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos.

4. PROPOSTA DO PGRS

- a) O planejamento das atividades de gerenciamento e manejo dos resíduos deverá ser desenvolvido tendo por base o diagnóstico da situação atual do gerenciamento dos resíduos sólidos, como também as legislações vigentes, tais como: a Lei nº 12.305/2010- Política Nacional de Resíduos Sólidos, as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, leis e decretos estaduais pertinentes ao gerenciamento dos resíduos sólidos, e as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), relativas às atividades de gerenciamento de resíduos;
- b) Devem ser verificadas as possibilidades de melhoria, soluções disponíveis no mercado e tecnologias já adotadas para o gerenciamento de resíduos sólidos;
- c) Este planejamento deverá contemplar metas a serem atingidas, proposta de melhoria do sistema atual, abordando os aspectos organizacionais, técnico-operacionais e de recursos humanos, ou seja:
 - d) Estrutura organizacional;
 - e) Descrição das técnicas e procedimentos a serem adotados em cada fase do manejo dos resíduos, relacionados a: segregação, coleta, acondicionamento, armazenamento, transporte/transbordo e destinação final, identificando as possibilidades de minimização dos resíduos, através da redução da quantidade e/ou redução de periculosidade e as possibilidades de reaproveitamento e/ou reciclagem dos Resíduos;
 - f) Caracterização, identificação e distribuição dos equipamentos de coleta interna dos resíduos sólidos;
 - g) Descrição das unidades intermediárias, apresentando lay-out ou projeto dessas unidades;
 - h) Descrição dos recursos humanos e das equipes necessários para a implantação, operação, monitoramento e implementação do PGRS;
 - i) Descrição dos equipamentos de proteção individual;
 - j) Indicação de fornecedores com respectivos custos envolvidos;



- k) Descrição das ações preventivas e corretivas a serem praticadas no caso de situações de manuseio incorreto e/ou acidentais (procedimentos emergenciais de controle);
- l) Elaboração de Programa de Treinamento e Capacitação;
- m) Cronograma físico de implantação, execução e operação das medidas e das ações propostas pelo Plano, de sua revisão e de atualização.

5. ATUALIZAÇÃO DO PGRS

- a) Deverão ser disponibilizadas informações acerca do acompanhamento da evolução do sistema de gerenciamento implantado, através do monitoramento das ações e metas planejadas e proposição de ações corretivas;
- b) Deverão ser elaborados relatórios de avaliação do PGRS, que serão apresentados quando da renovação da licença ambiental, contendo o acompanhamento e avaliação das atividades como meio de aferição das ações planejadas e implementadas bem como um relatório fotográfico das instalações. O documento deverá contemplar a ART atualizada do responsável técnico.