

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS E GERENCIAMENTO DE  
RESÍDUOS COMO CONDIÇÕES PRIMORDIAIS PARA A  
SUSTENTABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES**

**Luciana Dias Martins da Costa**

**Belo Horizonte**

**2010**

**Luciana Dias Martins da Costa**

**COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS E GERENCIAMENTO DE  
RESÍDUOS COMO CONDIÇÕES PRIMORDIAIS PARA A  
SUSTENTABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Resíduos como materiais de Construção Civil

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carmen Couto Ribeiro

Co-Orientador: Prof. Msc. Tadeu Starling

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2010

Costa, Luciana Dias Martins

C837c      Compatibilização de projetos e gerenciamento de resíduos  
como condições primordiais para a sustentabilidade das  
construções [manuscrito]/ Luciana Dias Martins da Costa – 2010.  
73 f., enc.: il.

Orientadora: Carmen Couto Ribeiro

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas  
Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia

1. Construção civil - Teses. 2. Engenharia Civil - Teses.  
3. Sustentabilidade - Teses. 4. Gerenciamento de resíduos - Teses.  
I. Ribeiro, Carmen Couto. II. Universidade Federal de Minas Gerais,  
Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624(043)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS  
COMO CONDIÇÕES PRIMORDIAIS PARA A SUSTENTABILIDADE DAS  
CONSTRUÇÕES

Luciana Dias Martins da Costa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Couto Ribeiro  
Escola de Engenharia da UFMG – (Orientadora)

---

Prof. Msc. Tadeu Starling  
PUC Minas – (Co-Orientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celina Borges Lemos  
Escola de Arquitetura da UFMG

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jisela Santanna Greco  
Escola de Engenharia da UFMG

Belo Horizonte, 29 de março de 2010.

A Deus por iluminar e abençoar  
sempre o meu caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelo amor, apoio constante e pelo exemplo de vida;

Ao Augusto, meu marido, pelo amor, compreensão, paciência e por estar ao meu lado incentivando em todos os momentos;

Aos meus irmãos Cristiane, Bruno e Mauro e ao meu cunhado Leymar pelo carinho;

Aos meus familiares e, em especial, aos meus avós Elsie e Cito;

À Prof.<sup>a</sup> Carmen Couto Ribeiro, por seu propósito em formar um pesquisador crítico e consciente, assim como pelo exemplo de ética e compromisso com o ensino e a pesquisa;

Ao Arquiteto Tadeu Starling, pela amizade e por sua importante contribuição neste trabalho;

À Prof.<sup>a</sup> Joana Darc da Silva Pinto, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pelo exemplo como pesquisadora e pela oportunidade de desenvolver uma parceria com a PUC Minas;

À Prof.<sup>a</sup> Celina Borges, que contribuiu muito para o início da minha vida acadêmica;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG, e, em especial, à Ivonete Magalhães e ao Adimilson Caetano pela dedicação e atenção;

À Direcional Engenharia, que me apoiou nesta pesquisa e que contribui a cada dia mais para o meu crescimento profissional e às minhas amigas e companheiras de trabalho que me deram apoio em todo o percurso desta pesquisa e, em especial, à Claudia Matoso e à Ana Claudia Cotta;

Ao Antônio Carlos Nogueira e Cássia Villani, por me apoiarem e por serem exemplos de profissionais;

A todos os meus amigos e, em especial, àqueles que contribuíram nesta pesquisa.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1 Interface entre arquitetura e engenharia .....	3
3.2 Compatibilização de projetos .....	16
3.3 Gerenciamento de resíduos .....	28
3.4 Argamassas .....	35
3.4.1 Conceituação .....	35
3.4.2 Propriedades das argamassas .....	40
3.4.3 Emprego das argamassas .....	41
4. METODOLOGIA .....	44
4.1 Compatibilização de projetos: Estudo de caso .....	44
4.1.1 Fase de projeto .....	46
4.1.2 Fase de execução .....	46
4.1.3 Fase de manutenção preventiva .....	46
4.1.4 Fase de manutenção corretiva .....	46
4.2 Gerenciamento de resíduos .....	46
4.2.1 Produção da argamassa .....	47
4.2.2 Resistência à compressão .....	49
4.2.3 Absorção .....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
5.1 Análise da compatibilização de projetos .....	51
5.1.1 Fase de projeto .....	51
5.1.2 Fase de execução .....	52
5.1.3 Fase de manutenção preventiva .....	56

5.1.4 Fase de manutenção corretiva .....	57
5.2 Análise do gerenciamento de resíduos .....	58
5.2.1 Granulometria.....	60
5.2.2 Índice de consistência .....	63
5.2.3 Resistência à compressão .....	64
5.2.4 Absorção .....	65
6. CONCLUSÃO.....	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
8. BIBLIOGRAFIA .....	71



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Uma máquina a vapor inglesa (cerca de 1830, Science Museum, Londres) .....	4
FIGURA 2 – [A ponte de Coalbrookdale] .....	5
FIGURA 3 – [Palácio de Cristal] .....	7
FIGURA 4 – [Torre Eiffel] .....	8
FIGURA 5 – [Arts and Crafts] .....	9
FIGURA 6 – [Escadaria do Hotel Tassel] .....	10
FIGURA 7 – [Portão do Castel Beranger] .....	10
FIGURA 8 – [Entrada do metrô de Paris projetada por Hector Guimard] .....	10
FIGURA 9 – O prédio da Bauhaus, em Dessau, projetado por Walter Gropius	12
FIGURA 10 – Potencial de influência no custo final do empreendimento e suas fases .....	17
FIGURA 11 – Relação entre o tempo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo das atividades demonstrando o efeito de um maior “investimento” na fase de projeto .....	18
FIGURA 12 – Os arranjos das equipes de projeto: tradicional e multidisciplinar .....	21
FIGURA 13 – Fontes de retroalimentação do projeto .....	23
FIGURA 14 – Principais interfaces no processo de projeto .....	24
FIGURA 15 – Projeto de modulação – planta de 1ª fiada .....	25
FIGURA 16 – Execução da 1ª fiada do projeto de modulação de alvenaria ....	26
FIGURA 17 – Projeto de modulação – vista .....	26
FIGURA 18 – Execução da alvenaria na obra .....	27
FIGURA 19 – Misturador mecânico automatizado .....	47
FIGURA 20 – Mesa de consistência .....	48

FIGURA 21 – Retificador de corpo de prova .....	49
FIGURA 22 – Prensa universal .....	50
FIGURA 23 – Projeto executivo de arquitetura .....	53
FIGURA 24 – Projeto estrutural.....	53
FIGURA 25 – Projeto executivo de arquitetura revisado .....	54
FIGURA 26 – Projeto estrutural revisado .....	54
FIGURA 27 – Guarda-corpo metálico .....	56
FIGURA 28 – Detalhe ampliado do guarda-corpo.....	56
FIGURA 29 – Infiltração de água pela parede.....	57
FIGURA 30 – Infiltração de água pelo piso .....	58
FIGURA 31 – Curva granulométrica da areia.....	61
FIGURA 32 – Curva granulométrica 65% areia e 35% escória.....	61
FIGURA 33 – Curva granulométrica 50% areia e 50% escória.....	62
FIGURA 34 – Curva granulométrica da escória .....	63
FIGURA 35 – Comparativo de resistência à compressão x idade de ruptura ..	64

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Perdas de alguns materiais de construção civil em canteiros brasileiros (%) .....	32
TABELA 2 – Tipos de cimento Portland em função das adições .....	37
TABELA 3 – Cuidados na preparação da argamassa.....	40
TABELA 4 – Características das argamassas de assentamento .....	42
TABELA 5 – Características das argamassas de revestimento .....	42
TABELA 6 – Regra de Sitter.....	45
TABELA 7 – Comparativo entre a Regra de Sitter e a Hipótese de Couto.....	51
TABELA 8 – Comparativo da compatibilização na fase de projeto .....	51
TABELA 9 – Comparativo da compatibilização na fase de execução .....	55
TABELA 10 – Composição química dos constituintes das argamassas .....	59
TABELA 11 – Índice de consistência .....	63
TABELA 12 – Resistência à compressão.....	64
TABELA 13 – Absorção por imersão .....	65

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a compatibilização de projeto e o gerenciamento de resíduos como aspectos primordiais para a sustentabilidade das construções. A compatibilização foi analisada através de estudos de casos onde a necessidade de intervenção na edificação se deu em etapas distintas: fase de projeto, fase de execução, fase de manutenção preventiva e fase de manutenção corretiva. Os resultados obtidos demonstram que a compatibilização ainda na fase de projeto é fundamental, sendo a solução mais segura e de menor custo. Quanto mais tarde é verificada a necessidade de intervenção maior o número de pessoas envolvidas, o prejuízo financeiro e a produção de resíduos, comprovando a necessidade de se investir na fase inicial de elaboração de projeto. O gerenciamento de resíduos foi estudado a partir da produção de uma argamassa de referência e outras com a substituição do agregado por escória de alto-forno nas seguintes proporções 35, 50 e 100%. Foram realizados ensaios de índice de consistência, resistência à compressão e de absorção de água por imersão. No que se refere aos resultados, as argamassas com substituição de areia por escória nas porcentagens de 35 e 50% apresentaram desempenho satisfatório em relação à argamassa de referência. A pesquisa realizada permite comprovar a eficiência da compatibilização de projetos e da reutilização de resíduos na construção civil, reduzindo o custo do empreendimento e favorecendo a sustentabilidade das construções.

Palavra-chave: compatibilização de projeto, resíduos, sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

This work aims to evaluate the design compatibilization and the construction waste management as fundamental aspects to the building sustainability. The design compatibilization was analyzed by studying cases where there was the necessity of intervention in different moments: design, construction, preventative maintenance and corrective maintenance. The results suggest that design compatibilization is fundamentally the most secure and the least expensive option. The more time it takes to verify the necessity of intervention, the more people will be involved in the process, the more money will be spent and the more waste will be produced, which proves the necessity of investments during the design step. The construction waste management was studied by comparing conventional mortar and other kinds of mortar, which had their aggregates substituted by blast furnace slag at the proportions of 35, 50 and 100%. Tests were run to evaluate the flow rate, the compression strength, and the water absorption by immersion. As for the results, the mortar with 35 and 50% aggregate substitution rate presented satisfactory performance when compared to the conventional mortar. The research proves that the design compatibilization and the reuse of waste on constructions are efficient in reducing the costs and in improving the sustainability of constructions.

Key words: design compatibilization, waste, sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda a compatibilização de projetos e o gerenciamento de resíduos como condições primordiais para a sustentabilidade das construções.

Em muitos casos a produção de resíduos é causada por problemas relacionados ao projeto, como: mudanças durante a execução da obra, detalhamento insuficiente e falha na coordenação dos projetos, o que justifica a importância de se propor estudos sobre a eficiência da compatibilização no desempenho da obra e na redução de resíduos.

A busca por sistemas de gestão da qualidade tem sido cada vez mais frequentes pelas construtoras para aprimorar e acelerar o processo de projeto. Além disso, o reaproveitamento de resíduos tem sido uma grande fonte de economia e de preservação do meio ambiente.

Neste contexto, este trabalho se propõe a estudar a compatibilização de projetos através da análise de estudos de casos e o desempenho da argamassa com a utilização de escória de alto-forno em sua constituição, visando ampliar cada vez mais a sustentabilidade das construções.

## 2. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar a compatibilização de projetos e o gerenciamento de resíduos na construção civil como aspectos fundamentais para a sustentabilidade das construções, a partir das seguintes diretrizes:

- Abordar a interface arquitetura-engenharia e sua evolução através dos tempos;
- Enfocar aspectos relevantes da compatibilização de projetos e da gestão de qualidade através de parâmetros que vêm sendo utilizados na construção civil;
- Planejar a compatibilização de projetos em suas fases distintas;
- Definir etapas fundamentais da compatibilização de projetos como um dos aspectos responsáveis pela redução de resíduos e pelo desempenho de obra;
- Analisar o desempenho das argamassas utilizando escória de alto-forno em sua composição visando propor o emprego de resíduos na construção civil;
- Avaliar a importância da compatibilização de projetos e o gerenciamento de resíduos para a sustentabilidade das construções.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Interface entre arquitetura e engenharia**

A arquitetura está presente em toda a história da humanidade. Até a segunda metade do século XVIII se enquadra em um contexto onde as formas, os métodos de projetar e o comportamento dos projetistas e dos executores variam de acordo com o tempo e com o lugar, a partir de diretrizes pré-definidas entre a arquitetura e a sociedade.

A partir da segunda metade do século XVIII, as relações entre arquitetura e engenharia começam a se transformar radicalmente com o surgimento da Revolução Industrial, que se inicia na Inglaterra e se expande pelo mundo a partir do século XIX. Começam a emergir neste momento novas idéias, novos materiais, proporcionando modificações sociais, culturais, econômicas e tecnológicas para a época.

Nas cidades, podem-se perceber mudanças consideráveis como aumento da população com a redução da taxa de mortalidade, devido principalmente à melhoria da higiene pessoal, das condições de instalações públicas e do avanço da medicina, mecanização dos sistemas produtivos e aumento da produção industrial. A invenção da máquina a vapor (FIG.1) propiciou um grande avanço tecnológico, tanto do maquinário de produção geral como daquele ligado aos transportes.



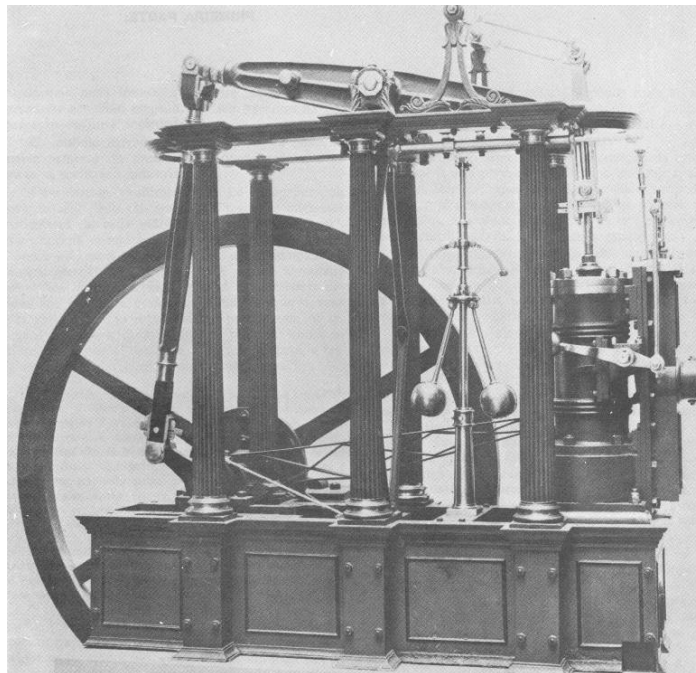


FIGURA 1 – Uma máquina a vapor inglesa (cerca de 1830, Science Museum, Londres)  
Fonte: BENEVOLO, 2004, p.34.

A nova economia industrial proporcionou o crescimento das cidades com a ampliação de estradas, execução de canais mais largos e profundos, pontes mais extensas e o desenvolvimento dos transportes por água e terra.

No campo das construções, a arte de construir sofre profundas transformações. Os materiais usualmente utilizados como pedra, madeira, tijolos e telhas passam a ser trabalhados de uma maneira mais racional e se juntam aos novos materiais, como vidro, ferro gusa e posteriormente ao concreto. A economia capitalista gera para o edifício um novo significado, diferente do passado: o seu valor como investimento econômico.

Os progressos científicos provocaram mudanças consideráveis na técnica da construção. As primeiras modificações surgiram na França com a invenção da geometria descritiva e com a introdução do sistema métrico decimal passando a representar no desenho todos os aspectos da construção. Este novo clima científico proporciona um aperfeiçoamento dos sistemas de execução permitindo aproveitar os materiais até o seu limite de resistência e utilizar o ferro e o vidro em conceitos totalmente novos na técnica.

A primeira ponte de ferro, a Ponte Coalbrookdale, foi projetada em 1777 na Inglaterra sobre o rio Severn com um vão de aproximadamente 30 metros pelo arquiteto T. F. Pritchard e executada pelo mestre ferreiro Abranham Darby (FIG. 2).



FIGURA 2 – [A ponte de Coalbrookdale]  
Fonte: PEVSNER, 2001, p.12.

A cidade, antes predominantemente rural, passa a ser verdadeiro pólo industrial. No campo das habitações, moradias são construídas por especuladores visando o lucro máximo, sem preocupação com as condições de higiene e segurança.

O crescimento rompe com os velhos quadros da cidade medieval e da cidade barroca, interferindo diretamente na estruturação das cidades. Os antigos instrumentos de intervenção passam a ser inadequados aos novos problemas de organização e com o surgimento de novas necessidades, há, neste contexto, reformas políticas e a criação da urbanística moderna, com a formação das primeiras leis sanitárias.

O aumento da produção através da mecanização, primeiramente, pela máquina a vapor e, posteriormente, pela eletricidade, substituiu parte da mão-de-obra humana agravando a situação da população que já estava marcada por

grandes explosões demográficas e pelo êxodo rural, aumentando o número de desempregados e a redução dos salários.

Além dos baixos salários, os trabalhadores passam por condições deploráveis nas fábricas, cujos ambientes eram sujos, abafados e com pouca iluminação. Os trabalhadores mais pobres, muitas vezes, moravam em ambientes sem iluminação, água e esgoto.

As modificações técnicas, sociais e culturais confluem não apenas para o desenvolvimento construtivo, mas também para uma nova síntese arquitetônica. No campo da engenharia o seu avanço pode ser acompanhado pelas Exposições Universais que deixam de ser apenas nacionais na segunda metade do século XVIII quando as barreiras alfandegárias são atenuadas.

A primeira Exposição Universal foi criada em Londres em 1851 e o projeto escolhido para execução foi o Palácio de Cristal em ferro e vidro, de Joseph Paxton<sup>1</sup>. Depois da exposição, a edificação foi desmontada e montada em Sydenham, onde permaneceu até ser destruída por um incêndio em 1937. O Palácio de Cristal foi importante não apenas por apresentar novas soluções de estética e de procedimentos de pré-fabricação em escala de produção industrial, mas por estabelecer uma nova relação entre os meios técnicos e a representação expressiva da edificação (FIG. 3).

---

<sup>1</sup> Joseph Paxton (1803-1865), engenheiro perito em jardinagem foi inicialmente construtor de estufas e ficou conhecido por projetar o Palácio de Cristal para a Grande Exposição de Londres em 1851.

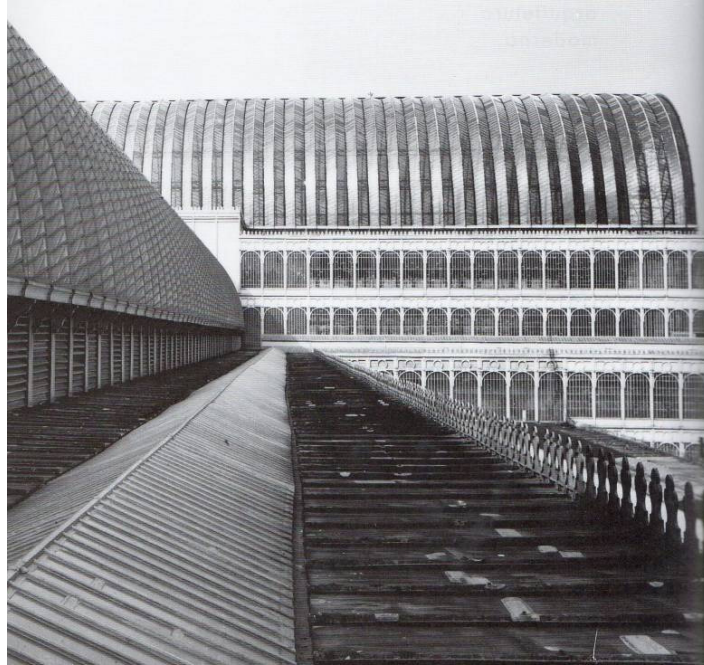


FIGURA 3 – [Palácio de Cristal]  
Fonte: CURTIS, 2008, p.20.

A Exposição Universal de 1889, em Paris, organizada no Campo de Marte, foi uma das mais importantes do século XIX, sendo composta por um conjunto de edifícios: palácios dispostos segundo planta em “U”, a Galerie des Machines e a Torre Eiffel, de Gustave Eiffel, com seus 300 metros de altura (FIG. 4).



FIGURA 4 – [Torre Eiffel], à época da Exposição Universal de 1889  
Fonte: CURTIS, 2008, p.37.

Os edifícios construídos de 1851 a 1889 para as Exposições Universais demonstram um grande avanço nas técnicas construtivas. Por volta de 1890, a cultura artística tradicional, o Eclétismo<sup>2</sup>, entra em declínio. Inicialmente tenta sobreviver generalizando as suas teses e transformando-se em um liberalismo artístico, o que coloca em crise o seu fundamento ideológico.

“O esforço de manter juntas as várias experiências arquitetônicas dentro da moldura do historicismo, deteriorada e forçada em todos os sentidos, está prestes a desaparecer, enquanto os motivos para uma renovação da arquitetura – de ordem técnica, como os progressos na construção, e de ordem cultural, como as solicitações do movimento Arts and Crafts – cresceram o suficiente para investir no problema geral da linguagem e para propor uma alternativa coerente para a sujeição aos estilos históricos” (BENEVOLO, 2001, pag. 267).

O movimento Arts and Crafts surgiu na Inglaterra na segunda metade do século XIX, foi influenciado por John Ruskin e liderado por William Morris.

---

<sup>2</sup> Movimento arquitetônico desenvolvido durante a segunda metade do século XIX. Pode ser considerado como um desdobramento do neoclassicismo buscando através do historicismo encontrar o estilo arquitetônico de acordo com a finalidade.



Defendia a retomada do artesanato como alternativa à mecanização da produção, estendendo a arte também para as peças decorativas como mobiliário, tapetes e tecidos. Buscava promover “a arte do povo para o povo”, mas por recusar a fabricação mecânica e utilizar um processo artesanal, as peças acabavam tendo alto custo e não sendo acessíveis a todos (FIG.5).



FIGURA 5– [Interior com peças decorativas inspiradas no Arts and Crafts]  
Fonte: MILLER, 2005, p.321.

Enquanto o Arts and Crafts (1880-1920) era difundido na Inglaterra, no restante da Europa surgiu, no final do século XIX, um novo movimento, o Art Nouveau (1880-1915). Sua origem se deu na Bélgica entre 1892 e 1894 com a casa Tassel de Victor Horta em Bruxelas (FIG. 6). Caracterizado pela presença de formas assimétricas derivadas da natureza, influenciou o design, a arquitetura, as artes plásticas e gráficas, os tecidos e a moda. Os materiais mais utilizados foram o vidro e o ferro, sendo que este último era usado como material decorativo e estrutural buscando a leveza, sutileza, transparência e sinuosidade. Na França, um representante de grande importância é o arquiteto e designer Hector Guimard, autor das estruturas de entrada do metrô de Paris (1889-1904) e do Castel Beranger concluído em 1897 (FIG. 7 e 8).

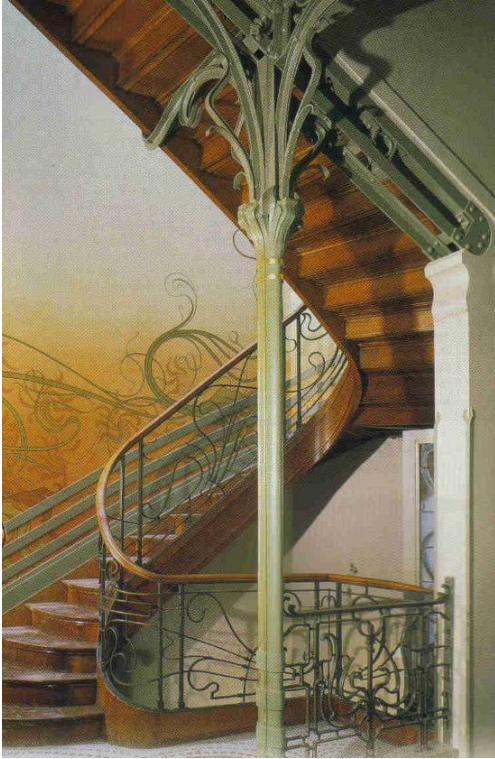


FIGURA 6 – [Escadaria do Hotel Tassel]  
Fonte: MILLER, 2005, p.347.



FIGURA 7 – [Portão do Castel Beranger]  
Fonte: MILLER, 2005, p.348.



FIGURA 8 – [Entrada do metrô de Paris projetada por Hector Guimard]  
Fonte: Essencial Architecture, 2010.

Na Áustria, Adolf Loos (1870-1933) se destacou por suas obras. Para ele a arquitetura não é uma arte, pois tudo que possui uma finalidade está excluído da esfera artística.

Atento às diversas manobras ornamentais na arquitetura, no mobiliário, no vestuário, na linguagem e utensílios, alertou aos seus contemporâneos que a modernidade dependia da expulsão dos ornamentos. Entre as suas diversas publicações escreveu em 1908 o livro “Ornamento é Crime” no qual criticava a ornamentação européia no final do século XIX.

“Saí vitorioso de um combate de trinta anos: librei a humanidade do ornamento supérfluo. Houve um tempo em que o ornamento era sinônimo de belo: hoje, graças à obra da minha vida, essa palavra é sinônimo de medíocre” (LOOS, 2000, pag. 61).

Sua arquitetura impressiona pela eliminação completa de todo elemento não-estrutural, com volumes de alvenaria lisa, na qual eram recortadas as janelas e demais aberturas, buscando uma adequação dimensional da construção, o atendimento às suas necessidades funcionais e o uso correto dos materiais.

Em cada elemento arquitetônico Loos entrevê um valor humano que está vinculado à avaliação experimental buscando evitar ao máximo o desperdício.

“...Loos percebe o espaço onde se desenvolve a experiência humana, isto é, uma realidade concreta, limitada, quase como uma moeda preciosa a ser gasta do modo mais cauteloso” (BENEVOLO, 2001, pag. 304).

Através da experiência direta ele relaciona o homem e o ambiente de forma restrita, limitando-se a considerar certas correspondências entre as medidas dos vãos e a estatura ou movimentos humanos.

A crítica de Adolf Loos sobre o ornamento supérfluo contribuiu para desvalorizá-lo, influenciando a arquitetura de muitos de seus contemporâneos, como Walter Gropius e Le Corbusier.

O período que compreende as primeiras décadas do século XX é marcado por inovações técnicas com o uso de novos materiais nas estruturas de sustentação, como o aço e o concreto armado.



Após o término da Primeira Guerra Mundial, é fundada por Walter Gropius, em 1919, na Alemanha, a escola Bauhaus, tendo como uma de suas principais características o paralelismo entre o ensino teórico e prático. (FIG. 9).



FIGURA 9 – O prédio da Bauhaus, em Dessau, projetado por Walter Gropius  
Fonte: Wikipedia, 2010.

“Esta idéia de iniciar com dois diferentes grupos de ensinantes foi uma necessidade, uma vez que não era possível encontrar nem artistas que possuíssem suficientes conhecimentos técnicos, nem artesãos dotados de imaginação suficiente para os problemas artísticos, em cujas mãos colocar a direção dos laboratórios. Uma nova geração capaz de combinar estes dois atributos deveria primeiro ser treinada, e nos últimos anos a Bauhaus conseguiu colocar, na direção dos laboratórios, ex-alunos dotados de uma experiência técnica e artística integrada, de modo que a separação do corpo docente em professores da forma e da técnica demonstrou-se supérflua.” (BENEVOLO, 2001, pag. 404).

A Bauhaus atribui aos problemas práticos o seu valor educativo. Além disso, os produtos fabricados pelo trabalho prático obrigatório propiciaram aos estudantes um novo meio de subsistência. O artesanato deixa de ser um ideal romântico, e passa a ser um meio didático para a preparação dos projetistas modernos, capazes de imprimir nos produtos industriais uma nítida orientação formal. Para Walter Gropius o artesanato não é pura idealização e nem a indústria é pura manualidade.

“A principal diferença entre artesanato e indústria se deve não tanto à natureza diversa dos instrumentos empregados quanto à subdivisão do trabalho na primeira, e ao controle unitário por parte de um único trabalhador na segunda. O perigo cultural na forma atual da indústria é a restrição forçada da iniciativa pessoal. O único remédio para isso é uma

postura totalmente diversa diante do trabalho: o progresso técnico demonstrou que uma forma de trabalho coletivo pode levar a humanidade a um grau de eficiência muito maior do que o trabalho independente dos indivíduos isolados, e é necessário levar em conta esta realidade sem, no entanto, diminuir a importância e o poder do esforço pessoal.” (BENEVOLO, 2001, pag. 406).

O ensino da Bauhaus passa pelos laboratórios de tipografia, de móveis, metais, tecidos, pintura e escultura, sendo que as novidades mais importantes provem dos laboratórios de metais e móveis com a invenção dos primeiros móveis em tubo de aço.

Este novo movimento passa a considerar como campo de trabalho todo o ambiente e toda a gama de produtos que servem à sociedade. A Bauhaus através de seu ensino promove uma nova metodologia de projetar que traz consigo algumas conseqüências, como:

- O projeto não mais é concebido como uma ação simples, mas sim como uma série de ações reguladas a partir do ritmo e da extensão dos fenômenos reais;
- As experiências em projeto não são mais consideradas independentes entre si;
- A arquitetura não deve ser considerada nem como o espelho dos ideais da sociedade, nem uma força capaz de, por si só, regenerar a sociedade, mas sim com um dos serviços necessários à vida em sociedade, que depende do equilíbrio do conjunto e que contribui para a modificação deste;
- A arquitetura não diz respeito apenas a questão de qualidade ou à quantidade, mas a uma mediação entre elas.

Este novo estilo arquitetônico, o Movimento Moderno, baseia-se, principalmente, pela busca da funcionalidade, redução de custo e produção em massa, simplificando os aspectos formais e abolindo os elementos decorativos, sendo a sua intenção estética resultante da produção industrial.

“Não deve haver aspectos de um prédio que não sejam necessários em termos de conveniência, construção e propriedade... O menor detalhe deve... servir a um propósito, e a própria construção deve variar de acordo com o material empregado” (PEVSNER, 2001, pag. 9).

Na França, Charles-Edouard Jeanneret-Gris, mais conhecido como Le Corbusier (1887-1965), fundou as bases do movimento moderno e suas características funcionalistas, trazendo uma nova forma de enxergar a arquitetura baseada nas necessidades humanas.

Enquanto a Bauhaus está aberta para as contribuições de qualquer parte do mundo funcionando como centro ideal do movimento moderno, Le Corbusier trabalha como mediador entre este movimento e a tradição francesa, considerando a cultura internacional como uma parte dos valores desta tradição. Apesar de não estar capacitado para promover uma verdadeira escola, as suas obras não podem ser reduzidas apenas a um momentâneo sucesso publicitário, pois permanecem até os dias de hoje e agem em profundidade no mais diversos lugares, possuindo uma capacidade de dominar o manejo das formas.

“O grande mérito de Le Corbusier foi o de empenhar seu incomparável talento no campo da razão e da comunicação geral. Ele nunca se contentou com o fato de que suas invenções fossem interessantes e sugestivas, mas sim úteis e aplicáveis universalmente, e não pretendeu impor, mas sim demonstrar suas teses.” (BENEVOLO, 2001, pag. 428).

Como Gropius, Le Corbusier também propõe superar o contraste entre progresso técnico e evolução artística, entre resultados qualitativos e quantitativos, mas define técnica e arte como dois valores paralelos em concordância com a cultura francesa.

“O engenheiro, inspirado na lei da economia e levado pelo cálculo, entra num acordo com as leis do universo; o arquiteto, pela disposição que imprime à forma, realiza uma ordem que é a pura criação de seu espírito.” (BENEVOLO, 2001, pag. 428).

Na sua arquitetura, Le Corbusier busca alguns valores, como:

- Volumes simples, superfícies definidas mediante as linhas diretrizes dos volumes e a planta como princípio gerador;
- A arquitetura deve ser submetida ao controle dos traçados geométricos;
- Os elementos da nova arquitetura já podem ser reconhecidos nos produtos industriais, como os automóveis;
- Os meios da arquitetura enobrecem os materiais rudes;
- A casa deve ser construída em série, como uma máquina;

As transformações econômicas e técnicas da época proporcionaram uma revolução arquitetônica.

“[Le Corbusier] oferece a solução poética, que é a única que todos parecem reconhecer, mas que é também a solução mais prática e acertada. Não conheço uma definição mais exata e culta da função da casa na arquitetura moderna do que aquela que ele ofereceu: a casa é uma machine à habiter. Esta definição é tão precisa que ainda suscita o desprezo de muitos críticos; e ressalte-se que é muito mais do que um simples slogan. É a definição mais revolucionária da arquitetura moderna (BENEVOLO, 2001, pag. 430).

Em 1926, Le Corbusier publica um documento que expõe de forma sistemática os “cinco pontos de uma nova arquitetura”:

- Pilotis: com a tecnologia do concreto armado a casa passa a ser suspensa do terreno e o jardim passa sob a casa, promovendo uma nova relação entre espaço “interno-externo” e entre observador-morador;
- Teto-jardim: com o avanço técnico do concreto armado foi possível aproveitar a última laje da edificação como área de lazer;
- Planta livre da estrutura: os espaços internos não estão mais atrelados à concepção estrutural. O uso de pilar-viga possibilitou a flexibilidade necessária para a melhor definição interna dos espaços;
- Fachada livre: A estrutura possibilitou que as aberturas se tornassem mais flexível e toda forma de ornamento foi abolido;
- Janela em fita: as janelas estão localizadas de um ponto ao outro da fachada, sendo um dos elementos essenciais da casa.

Enquanto o interesse dos arquitetos da geração anterior se concentrava especialmente nos detalhes, Le Corbusier surge com um novo edifício onde o conjunto é valorizado.

### 3.2 Compatibilização de projetos

Nas últimas décadas, a construção civil no Brasil vem passando por grandes mudanças nos aspectos tecnológicos, culturais e de mercado, exercendo influência direta na concepção dos projetos e execução das obras.

A busca pela produtividade, competitividade, eficiência produtiva e qualidade do produto passa a ser uma questão de sobrevivência das empresas que são pressionadas a alterar seus processos de produção com a finalidade de reduzir custos e adequar os produtos ofertados no mercado, para viabilizarem os seus empreendimentos.

Para ampliar a competitividade e melhorar a qualidade dos produtos, observa-se no Brasil, desde meados da década de 90, a implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade<sup>3</sup> (SGQ). Outro aspecto que também influencia diretamente na implantação é a exigência dos órgãos contratantes e financiadores do setor público pela certificação da NBR ISO 9001<sup>4</sup> e da PBQP-H<sup>5</sup>.

Para garantir a qualidade do produto final, no caso da edificação, é fundamental a compatibilização no processo de projeto. A falha nesta etapa provoca uma maior quantidade de erros e de retrabalho na obra gerando grande desperdício. Atualmente pode-se perceber uma grande preocupação por parte das empresas pelo desenvolvimento do projeto, pois as modificações feitas ainda na fase do “papel” são muito mais simples e baratas do que executar as alterações durante a obra.

O sucesso de um empreendimento começa a partir das decisões iniciais de projeto dando grande destaque, primeiramente, ao estudo de viabilidade.

---

<sup>3</sup> O Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) é a prática de gestão que traz a padronização de processos e controle visando à qualidade em toda a organização.

<sup>4</sup> NBR ISO 9001 – é a versão brasileira da norma internacional ISO 9001 que estabelece requisitos para o Sistema de Gestão de Qualidade (SGQ) de uma organização.

<sup>5</sup> Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat criado pelo Governo Federal na década de 90 com a finalidade de organizar o setor da construção civil em dois aspectos fundamentais: melhoria da qualidade do habitat e a modernização da produção.

Apesar de ter um alto custo inicial, este estudo é responsável pela maior capacidade de influência no custo final do empreendimento (FIG. 10).

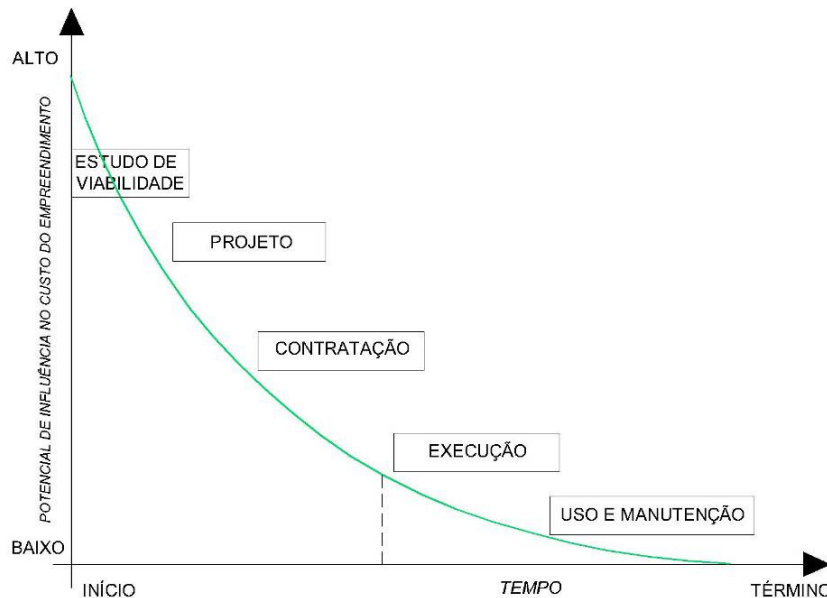


FIGURA 10 – Potencial de influência no custo final do empreendimento e suas fases  
Fonte: CII *apud* MELHADO, 2005, p.15.

Muitas vezes o estudo de viabilidade está vinculado apenas às diretrizes, como por exemplo, fornecidas pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, como quota de terreno<sup>6</sup>, taxa de ocupação<sup>7</sup>, potencial construtivo<sup>8</sup>, dentre outros aspectos e às diretrizes comerciais para o local. O ideal é que estas informações sempre estejam complementadas por sondagem do terreno, viabilidade e diretriz técnica básica das concessionárias locais de energia, água e esgoto. Estas informações são essenciais para que no início do processo já possa se estimar o tipo de fundação e a necessidade de execução de redes de

<sup>6</sup> Quota de terreno por unidade habitacional é o instrumento que controla o nível de adensamento nas edificações destinadas ao uso misto residencial ou na parte residencial das de uso misto.

<sup>7</sup> Taxa de ocupação –TO – é a relação entre a área de projeção horizontal da edificação e a área do terreno.

<sup>8</sup> O Potencial construtivo é calculado mediante a multiplicação da área total do terreno pelo Coeficiente de Aproveitamento – CA – da zona em que se situa.

infraestrutura, pois a execução destes itens sem previsão no orçamento pode inviabilizar o empreendimento.

Na fase de projeto, o arquiteto deve trabalhar sempre em interface conciliando os interesses do empreendedor, do construtor e atendendo as expectativas do usuário final, já que as decisões tomadas influenciam diretamente na execução do empreendimento.

O desenvolvimento do projeto não é composto por uma sequência linear a partir do recebimento das informações do empreendedor, pois já na fase inicial deve contemplar as soluções técnicas necessárias para a execução da obra, devendo ser realizada de maneira a garantir os padrões de qualidade projetados.

Quanto maior o investimento nesta etapa e maior o tempo para análise e desenvolvimento do projeto, melhor será o resultado final para o empreendedor com relação à redução de custo gerado principalmente pelo retrabalho (FIG. 11).

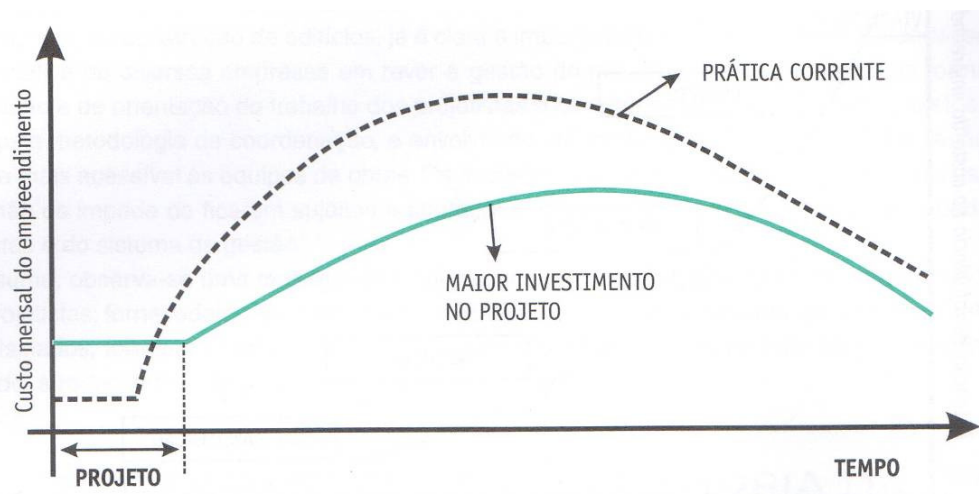


FIGURA 11 – Relação entre o tempo de desenvolvimento de um empreendimento e o custo das atividades demonstrando o efeito de um maior “investimento” na fase de projeto

Fonte: MELHADO, 2005, p.16.

Um dos problemas que se pode perceber no desenvolvimento do projeto é que, muitas vezes, o empreendedor não possui todas as especialidades

contratadas, prejudicando a compatibilização e racionalização do projeto nas etapas iniciais.

O processo de projeto engloba diversos agentes que devem cooperar entre si em torno de um fim comum, a construção do edifício. Para que a execução da obra seja viável é necessário que todas as etapas de projetos estejam desenvolvidas e compatibilizadas, como algumas citadas abaixo:

- Levantamento topográfico: consiste na descrição do relevo do terreno através da representação planialtimétrico ou altimétrico em planta ou carta;
- Projeto legal: é o projeto de arquitetura aprovado pela prefeitura do município. É a base para o início de todo o processo de projeto.
- Sondagem: é o processo de análise do solo através da perfuração visando sua caracterização, como composição, resistência e nível do lençol freático. A partir da implantação do projeto de arquitetura, é feita a locação dos furos de sondagem necessários. Normalmente esta locação é feita pelo engenheiro responsável pela elaboração do projeto de fundação.
- Terraplenagem: é o projeto de movimentação de terra feito com base no levantamento topográfico e no estudo de níveis da implantação da arquitetura.
- Fundação: é o projeto do elemento estrutural que transfere ao terreno as cargas da edificação. Para que seja elaborado é necessário que o projetista de estrutura forneça o Mapa de Cargas com a definição do carregamento da edificação.
- Estrutura: é o projeto de estrutura da edificação.
- Sistemas prediais: é o projeto de instalações elétricas, hidráulicas dentre outras. Para a elaboração deste projeto é necessário o projeto estrutural para que se estudem todas as interferências.



- Modulação de alvenaria: é o projeto de paginação das alvenarias. Pode ser chamado de projeto de produção. Este projeto não é obrigatório, mas muitas construtoras estão adotando visando à racionalização construtiva e a redução de custo.
- Executivo e detalhamento: o projeto executivo é o projeto de arquitetura compatibilizado com todos os projetos complementares (estrutura, instalações, etc.). O projeto de detalhamento contém todos os ambientes que necessitam de detalhes específicos para a sua execução, como banheiros, cozinhas, dentre outros. O projeto executivo e detalhamento devem contemplar todos os desenhos necessários para compreensão do projeto e execução da obra.
- Consultoria de fachada: é o projeto para produção do revestimento da fachada visando minimizar patologias futuras e obter o desempenho adequado ao longo do tempo.
- Consultoria de esquadria: projeto de detalhamento das esquadrias com dimensão dos perfis e espessuras dos vidros. A necessidade deste projeto varia de acordo com o tipo do empreendimento.
- Paisagismo: é o projeto de definição das espécies de vegetação e da integração da área externa com a edificação.

Além dos itens citados acima, dependendo da tipologia da edificação, outros projetos podem ser necessários, como: climatização (ar condicionado), exaustão, pressurização de escada, aquecimento solar, dentre outros.

Neste contexto, a gestão e a coordenação de projetos são essenciais para a compatibilização destas disciplinas, buscando fornecer subsídios para a execução mais racionalizada da obra, com a redução de custos e o aumento da competitividade da empresa.

“A gestão de projetos compreende o conjunto de ações envolvidas no planejamento, organização, direção e controle do processo de projeto, o que envolve tarefas de natureza estratégica, tais como estudos de demanda de mercado, prospecção de terrenos, captação de investimentos ou de fontes de financiamento da produção, definição de características do produto a ser construído, além de tarefas ligadas

diretamente à formação das equipes de projeto em cada empreendimento, como contratação de projetistas, estabelecimento de prazos para etapas de projeto e gestão da interface com os clientes ou compradores.” (MELHADO, 2005, pag.19).

A coordenação deve assegurar diversos itens importantes para o processo de projeto, como: garantir que as partes não prejudiquem o todo, conciliar as necessidades de prazos, fazer análise crítica dos projetos, consultar soluções externas se necessário, fazer a compatibilização entre as disciplinas, atendendo às novas demandas e desenvolvendo o projeto em prazos menores. Entre os aspectos apresentados, a compatibilização, no processo atual, tem grande destaque ao viabilizar a interatividade entre todas as disciplinas, diferenciando-se do modelo tradicional (FIG. 12).

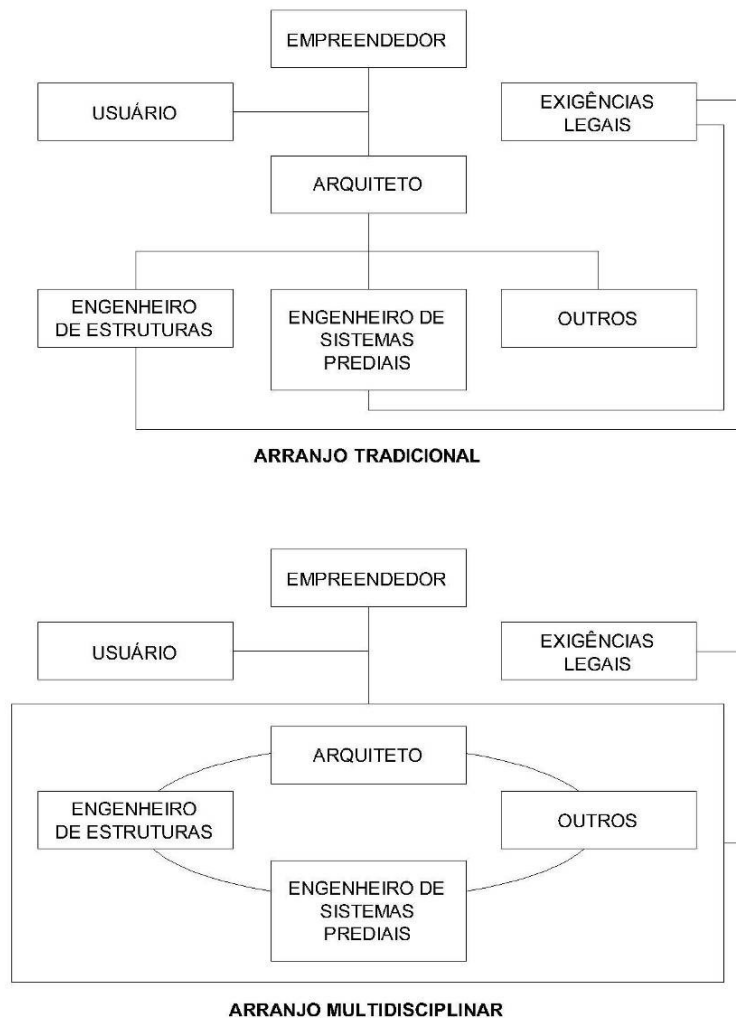


Figura 12 – Os arranjos das equipes de projeto: tradicional e multidisciplinar  
Fonte: MELHADO, 2005, p.30.

O processo de projeto é composto por várias etapas que podem ser verificadas de uma forma muito similar em quase todos os projetos de edifício, variando apenas a nomenclatura:

- Definição do produto: nesta etapa se define a tipologia do produto, o investimento econômico, o terreno a ser implantado e o programa de necessidades;
- Desenvolvimento do produto: a partir da aprovação do estudo inicial se desenvolve o estudo preliminar com o estudo prévio dos projetos complementares e com as informações legais do município;
- Formalização do produto: nesta etapa se desenvolve o Projeto Legal para aprovação nos órgãos competentes;
- Detalhamento do produto: elaboração do projeto executivo e detalhamento com todas as informações necessárias para a execução da obra;
- Planejamento para a execução: os projetos executivos são analisados com o intuito de racionalizar a produção favorecendo a gestão e o prazo de projeto;
- Entrega final: o produto produzido nesta etapa é o projeto de “As Built” que é o projeto executivo com as modificações necessárias que foram executadas na obra.

As informações geradas pela última etapa são fundamentais para a retroalimentação do processo de projeto, que é um mecanismo de aprendizagem com o objetivo de identificar os erros cometidos levantados pelos usuários e construtores, para proporcionar melhoria contínua do produto (FIG. 13).

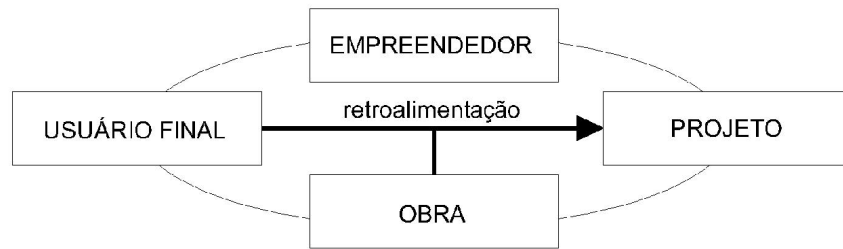


FIGURA 13 – Fontes de retroalimentação do projeto

A qualidade de um empreendimento envolve diversos fatores como projeto, mão-de-obra, materiais e controle das atividades contratadas. Quando há problemas de projeto com modificação no transcorrer do processo, falta de consulta ou de cumprimento às especificações, detalhamento insuficiente, bem como falha na coordenação entre as diversas especialidades, ocorrem grandes perdas de eficiência nas atividades de execução e prejuízos de determinadas características do produto.

Em mercados cada vez mais competitivos as empresas têm necessidade de diferenciação e inovação. Nos últimos anos houve uma mudança no processo de projeto, com discussões sobre a importância da compatibilização de projeto para a diminuição de custos e retrabalhos e a necessidade de interação entre as fases de concepção-projeto e a execução de obras. Para melhorar a execução da obra e a redução de problemas, muitos construtores vêm adotando o projeto de produção que tem como objetivo integrar o projeto à obra.

Por muito tempo a indústria civil adotou o processo de projeto tradicional composto por uma forma seqüencial das atividades. Cada atividade só se inicia após o término da outra, não proporcionando interatividade entre elas. Esta solução acabava gerando um alto custo de produção e uma baixa qualidade do produto final.

Para melhorar os resultados, as empresas passaram a adotar uma nova filosofia, a Engenharia simultânea, que busca através do projeto simultâneo a integração do desenvolvimento do produto com os demais processos envolvidos, para melhorar a qualidade do produto final e atender às expectativas dos clientes.

A adoção do projeto simultâneo proporciona benefícios como: maior integração entre os agentes do processo, redução do tempo de elaboração do projeto e do custo da obra e melhoria do desempenho do produto, sendo que a integração entre os diversos agentes é fundamental para que o produto atenda as expectativas do usuário final e para que forneça informações para a retroalimentação do processo (FIG. 14).

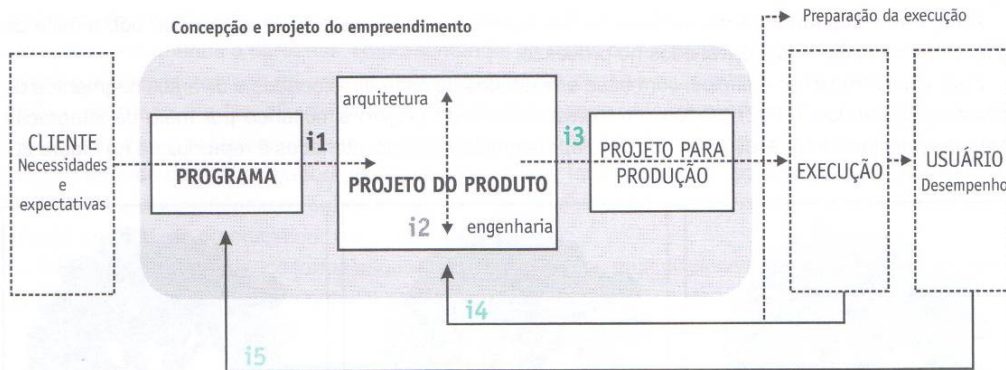


FIGURA 14 – Principais interfaces no processo de projeto

I1: interface com o programa

I2: interface entre os projetos do produto

I3: interface projetos do produto – produção

I4: retroalimentação execução – projeto









I5: interface cliente (retroalimentação de desempenho)

Fonte: FABRICIO *apud* MELHADO, 2005, p.56.








Uma das ferramentas neste processo é o projeto de produção que representa não o aspecto final da edificação, como no projeto de produto, mas sim o “como fazer” para que as definições de execução não sejam tomadas pelos executores da obra. Um exemplo deste tipo de projeto é o projeto de modulação de alvenaria, onde é representada toda a paginação dos blocos e as suas interfaces com os demais elementos construtivos através da representação de plantas e vistas (FIG. 15, 16, 17 e 18).

LEGENDA:

BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAIS UTILIZADOS NA 1A. FIADA

-  BLOCO CONCRETO ESTRUTURAL 14x19x29
-  BLOCO CONCRETO ESTRUTURAL 14x19x34
-  BLOCO CONCRETO ESTRUTURAL 14x19x44
-  \*COMPENSADOR DE CONCRETO (14x19x9)
-  \*COMPENSADOR DE CONCRETO (14x19x4.5)
- \* COMPENSADORES EXTRAIDOS DO BLOCO SECCIONAVEL 14x19x09
-  MEIO BLOCO DE CONCRETO (14x19x19)
-  BLOCO CONCRETO (14x19x14)
-  MICROCONCRETO

BLOCOS DE CONCRETO VEDAÇÃO UTILIZADOS NA 1A. FIADA

-  BLOCO CONCRETO DE VEDAÇÃO 9x19x39
-  BLOCO CONCRETO DE VEDAÇÃO 9x19x19
-  TUBULAÇÃO QUE SOBE
-  TUBULAÇÃO QUE DESCE
-  PRUMADA
-  NÚMERO DA PAREDE
-  ESP. DA PAREDE

NOTAS:

-  PRÉMOLDADO

-PARA SIMBOLOGIA VER PROJETO ELÉTRICO , TELEFONE E INSTALAÇÕES ESPECIAIS

-AS MEDIDAS REFEREM-SE AS FACES DAS ALVENARIAS

-PARA MEDIDAS (COTAS PARCIAIS) NÃO ACUMULADAS VER ELEVÇÕES

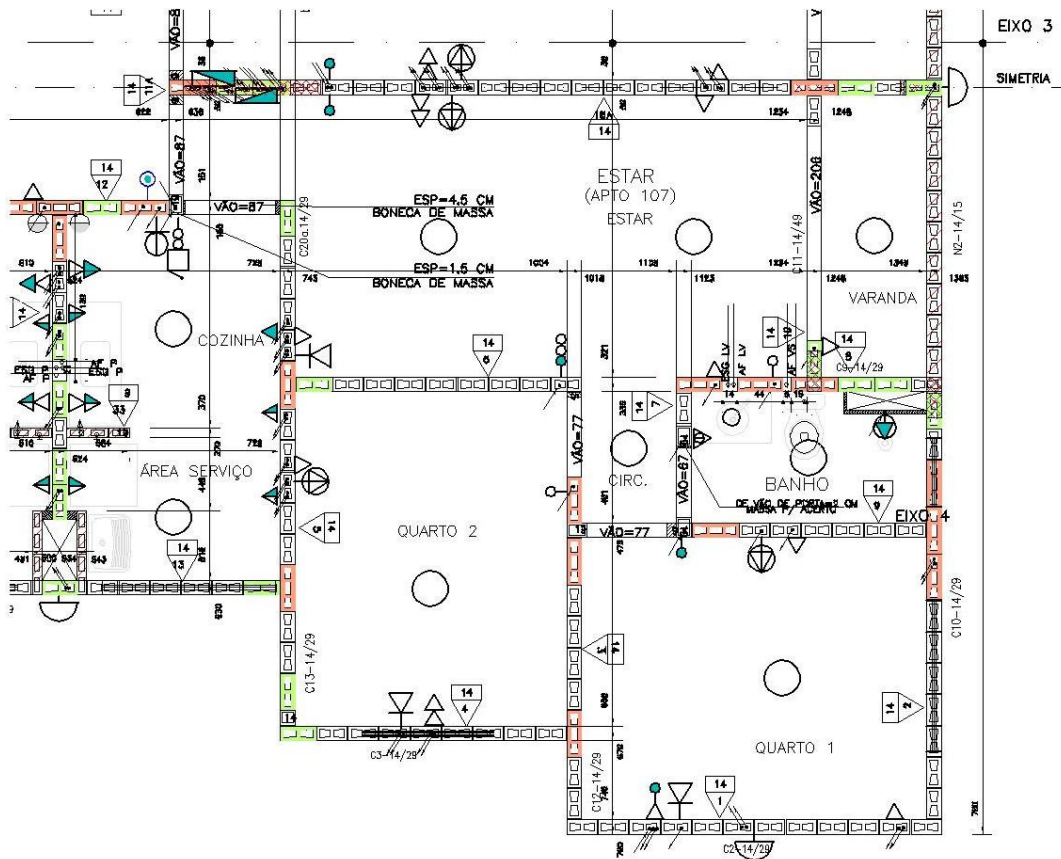


FIGURA 15 – Projeto de modulação – planta de 1ª fiada  
 Fonte: Projeto CJ Arquitetos Associados



FIGURA 16 – Execução da 1ª fiada do projeto de modulação de alvenaria  
Fonte: Acervo da autora.

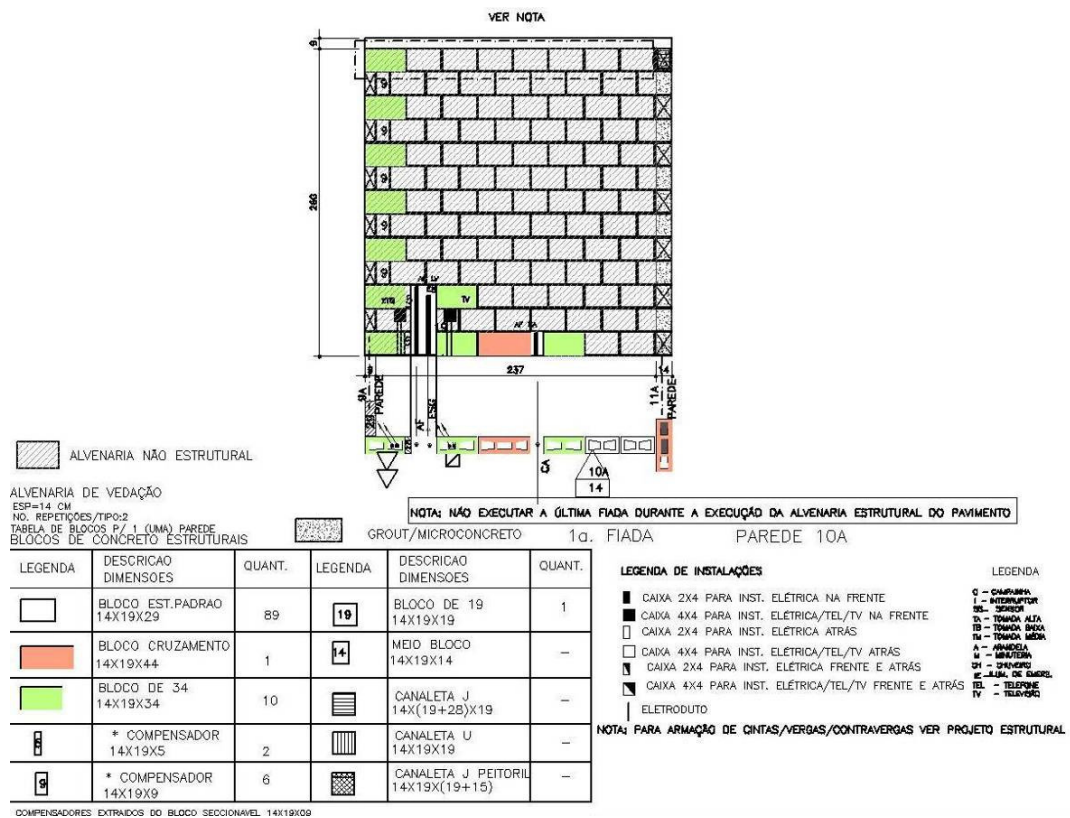


FIGURA 17 – Projeto de modulação – vista  
Fonte: Projeto CJ Arquitetos Associados





Figura 18 – Execução da alvenaria na obra  
Fonte: Acervo da autora.

A interface projeto-obra é fundamental para o desempenho da produção e para a qualidade do produto. Para elaboração do projeto é essencial levar em consideração diversos fatores como: tecnologia construtiva, assistência técnica e retroalimentação. Muitas vezes, este processo ainda é prejudicado nos dias de hoje devido ao curto prazo que é dado ao desenvolvimento do projeto legal, podendo acarretar graves consequências para o desenvolvimento do projeto executivo.

Nesta busca pela elaboração e execução do produto final, os processos de análise, padronização e logística são muito importantes. Outro aspecto de grande relevância é que quanto mais eficiente for a compatibilização de projetos menor será o retrabalho e maior será a redução de resíduos na obra. Hoje em dia, apesar das empresas, de uma forma geral, conseguirem reduzir o percentual de resíduos, eles ainda são uma realidade, sendo necessários estudos que proporcionem uma ampliação de seu uso.

Do ponto de vista econômico a compatibilização tem papel fundamental. Mudanças ainda em fase de projeto possuem menor custo e são muito mais seguras. Esta questão é tão importante que foi abordada para a durabilidade do concreto pela “Regra de Sitter”. Esta regra avalia o custo/benefício de prevenção e manutenção em relação à durabilidade do concreto, apresentando



os custos de recuperação em uma progressão geométrica de razão de 5 variando em quatro etapas:

- Fase de projeto: qualquer medida tomada ainda na fase de projeto visando prevenir ou corrigir futuras patologias possui um custo arbitrado de valor unitário;
- Fase de execução de obra: qualquer providência tomada durante a fase de obra visando corrigir algum erro que não foi previsto na fase de projeto, corresponde a um custo 5 vezes mais do que se esta medida fosse tomada na fase anterior;
- Fase de manutenção preventiva: durante a fase de utilização se for prevista ou antecipada a necessidade de manutenção regular da construção, esta medida corretiva tem o custo 25 vezes maior do que se a providência tivesse sido recomendada durante a elaboração do projeto;
- Fase de manutenção corretiva: durante a fase de utilização se for necessária a intervenção corretiva, esta medida terá o custo 5 vezes maior do que a etapa anterior e 125 vezes superior ao custo de projeto.

### **3.3 Gerenciamento de resíduos**

Nas últimas décadas pode-se observar que a maior parte da população mundial vive na zona urbana. Este crescimento acentuado tem provocado consequências para a cidade, como o aumento da necessidade de infraestrutura, da produção, do gasto com energia e, conseqüentemente, o aumento da produção de resíduos. A natureza, vinculada cada vez mais aos interesses econômicos da sociedade, é utilizada para a exploração de seus recursos naturais e para a eliminação de resíduos, provocando para o meio ambiente o aumento da poluição do ar, das águas, desmatamento das florestas e esgotamento das matérias-primas não renováveis.

O termo desenvolvimento sustentável foi utilizado pela primeira vez em 1987 no Relatório de Brundtland pela ONU em resposta ao desenvolvimento predatório do planeta. Neste relatório a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento criticava o modelo de desenvolvimento adotado pelos países desenvolvidos e defendia um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso mundial suprindo as necessidades da geração presente sem prejudicar as gerações futuras.

O termo desenvolvimento sustentável ou sustentabilidade se popularizou nas conferências do Rio de Janeiro, em 1992, e de Johannesburgo em 2002. A partir de então, passou a ser um tema recorrente em debates de governos, empresas, ONGs e da sociedade.

A sustentabilidade pode ser definida como um conceito sistêmico relacionado com a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana de tal forma que possa preencher as necessidades do presente e, ao mesmo tempo, preservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais, abrangendo todo o tipo de organização, de uma pequena vizinhança até todo o planeta.

Para a indústria, a busca pela sustentabilidade se dá no desenvolvimento de projetos e de novas tecnologias para proporcionar o uso racional de recursos naturais de água, energia, na redução da geração de resíduos como também em sua reutilização.

No caso do empreendimento humano, para ser considerado sustentável ele deve abranger quatro requisitos básicos:

- Ecologicamente correto;
- Economicamente viável;
- Socialmente justo;
- Culturalmente aceito.

No mundo contemporâneo, caracterizado pela globalização em todos os aspectos, existe uma grande preocupação em aliar o desenvolvimento com o uso racional das matérias-primas e com os processos de reutilização de resíduos tornando-os eficientes e não poluentes para melhorar a qualidade de vida da população.

Uma grande preocupação neste sentido é a geração de resíduos que tem aumentado em quantidade e diversidade em decorrência do crescimento econômico. Apenas uma pequena porcentagem de tudo que é extraído do planeta equivale ao produto final, o restante é resíduo.

A construção civil nos últimos anos tem demonstrado grande preocupação em contribuir para o desenvolvimento sustentável tanto com a elaboração de estudos para reaproveitamento de resíduos como também na alteração do conceito de suas edificações.

Edifícios elaborados, anteriormente, apenas pelas diretrizes econômicas, sociais e culturais, passam a ter uma nova condicionante, a questão ambiental. Esta alteração modifica todo um conceito de projeto e execução por arquitetos e engenheiros que começam a se preocupar com a perda de energia, com os impactos ambientais, com o melhor aproveitamento dos recursos naturais e com a geração de resíduo, na busca pelo caráter realmente sustentável da construção.

Apesar de já existir uma preocupação com relação ao conceito de sustentabilidade pela sociedade da construção civil, este assunto merece grande destaque pela sua importância. A indústria da construção pode ser considerada como uma das maiores geradoras de impacto ambiental ao longo de toda a sua cadeia produtiva, desde a extração de matéria-prima, a execução do edifício e a geração de resíduos.

É importante ressaltar que por mais que a empresa busque através da implantação de sistemas de gestão de qualidade garantir o bom desempenho do processo, sempre existirá uma porcentagem de resíduo, sendo fundamental promover estudos que possibilitem o seu reaproveitamento e reciclagem.

A busca por uma sociedade sustentável não é uma tarefa tão simples, pois é preciso uma mudança radical dos padrões de consumo e de produção, sendo um assunto ainda polêmico por interferir em diversos interesses, principalmente os econômicos da sociedade.

Preocupações com o aumento da temperatura global, emissão de gases tóxicos, aumento do efeito estufa, desmatamento, poluição do ar e da água, redução de matérias-primas, extinção das fontes renováveis e geração de resíduos são frequentes.

Apesar do desenvolvimento sustentável ainda causar desavenças entre as nações mundiais, muitas pesquisas têm sido elaboradas nesta área para garantir, principalmente, o futuro da humanidade.

A preocupação com a sustentabilidade, nas últimas décadas, vem fazendo com que os órgãos ambientais pressionem cada vez mais as empresas a buscar soluções que reduzam a degradação do meio ambiente e proporcionem a reutilização de resíduos.

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja por atenuar o impacto ambiental gerado pelo setor ou por reduzir os custos do empreendimento. O resíduo pode ser gerado em três momentos diferentes na obra:

- Fase de construção (canteiro);
- Fase de manutenção e reformas;
- Fase de demolição de edifícios.

Na primeira fase, a geração do resíduo acontece durante a construção. É decorrente de perda do processo construtivo, podendo estar parte incorporado às construções, como no caso em que dimensões finais são superiores àquelas projetadas, como por exemplo, a espessura final de argamassas e de lajes, e a outra parcela em resíduo de construção.

Esta perda pode variar em diferentes canteiros de uma empresa que utiliza a mesma tecnologia. Esta variação comprova que é possível combater as perdas, como também reduzir a geração de resíduos através do aperfeiçoamento de projetos, seleção adequada de materiais, treinamento do pessoal, utilização de ferramentas adequadas, melhoria das condições de estoque e transporte e a melhor gestão de projetos (Tabela 1).

Tabela 1 – Perdas de alguns materiais de construção civil em canteiros brasileiros (%)

	<b>Cimento</b>	<b>Aço</b>	<b>Blocos e tijolos</b>	<b>Areia</b>	<b>Concreto usinado</b>
Mínimo	6	2	3	7	2
Máximo	638	23	48	311	23
Mediana	56	9	13	44	9

Fonte: John, 2000.

A redução das perdas geradas na fase de construção favorece também a diminuição da geração de resíduo nas fases de manutenção e demolição.

Na segunda fase, a geração de resíduo está associada a vários fatores, como: correção de patologias; reformas ou modernização do edifício e descarte de componentes degradados que atingiram o final da vida.

Para reduzir a geração de resíduos nesta fase, causados, principalmente, por patologias ou pelo retrabalho, podem-se adotar algumas medidas, como: melhoria da qualidade da construção, projetos flexíveis, aumento da vida útil física dos diferentes componentes e da estrutura dos edifícios. No Brasil, em geral, a redução dos resíduos desta fase ainda depende muito da conscientização dos integrantes desta etapa.

Na terceira fase a geração de resíduos é causada pela demolição de edifícios, sendo que as medidas para sua redução dependem de resultados em longo prazo, como fatores: prolongamento da vida útil dos edifícios, existência de incentivos para que o proprietário de determinado imóvel realize modernização e não demolição, tecnologia de projeto de demolição para que permita a reutilização dos componentes.

Os resíduos de construção civil são constituídos por uma variedade de produtos, que podem ser classificados como:

- Classe A: alvenaria, concreto, argamassas e solos. Destinação: reutilização ou reciclagem com uso na forma de agregados, além da disposição final em aterros licenciados;
- Classe B: madeira, metal, plástico e papel. Destinação: reutilização, reciclagem ou armazenamento temporário.
- Classe C: produtos sem tecnologia disponível para recuperação (gesso, por exemplo). Destinação: conforme norma técnica específica;
- Classe D: resíduos perigosos (tintas, óleos, solventes, etc.), conforme NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos – Classificação). Destinação: conforme norma técnica específica.

A construção civil, por estar vinculada a diversos materiais e processos, possui um grande potencial para o emprego de resíduos gerados por outras indústrias, o que proporciona uma redução da degradação do meio-ambiente através da reutilização e da reciclagem.

A possibilidade de reutilização de resíduos tem motivado as empresas a investirem em estudos de novas tecnologias, buscando, além do reaproveitamento de materiais, a redução de custo.

Os resíduos gerados por outras indústrias mais utilizados na construção civil são: escória de alto-forno, cinzas volantes, casca de arroz, serragem e pedaços de madeira, pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, cascas de babaçu, entre outros.

Dentre os resíduos acima citados pode-se dar destaque ao emprego da escória de alto-forno, rejeito siderúrgico com potencial pozolânico obtido no processo de redução do minério de ferro.

Pozolanas são materiais naturais ou artificiais, que contém sílica em forma reativa, com pouca ou nenhuma qualidade cimentante intrínseca, mas quando

pulverizadas e na presença de umidade reagem com o hidróxido de cálcio formando produtos com capacidade cimentante. A sílica existente na pozolana reage com o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , liberado na hidratação do cimento, formando os silicatos de cálcio. (COUTO et al, 1991).

A escória é um subproduto da manufatura do ferro-gusa, tendo suas características químicas e cimentantes provenientes dos fundentes adicionais à mistura. Além disso, no processo de resfriamento rápido, a escória se solidifica numa forma vítrea tornando-se reativa. Sua composição química está ligada à qualidade do minério de ferro, à natureza do fundente, ao tipo de combustível (coque ou carvão vegetal) ativador da redução e à viscosidade.

O tipo de escória varia de acordo com o processo de fabricação utilizado:

- Escória de alto forno: resultante da fusão redutora dos minérios para obtenção do ferro-gusa (alto teor de carbono);
- Escória de aciaria: resultante da produção do aço. Pode ser obtida em fornos elétricos e conversores a oxigênio, durante a conversão de sucata em aço. As escórias de aciaria podem ser ainda divididas em oxidantes (produzida através da injeção de oxigênio no aço fundido para oxidar o carbono, silício e enxofre) e redutoras (gerada após o vazamento da escória oxidada e adição de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e fluorita ( $\text{CaF}_2$ )).

Hoje, o uso da escória de alto-forno como adição ao cimento Portland está consagrado no mundo todo proporcionando diversas vantagens na fabricação de concretos e argamassas, como:

- Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis;
- Redução do consumo de energia durante o processo de produção;
- Redução da poluição (reduz a emissão de gás carbônico);
- Redução do custo por se tratar de um resíduo siderúrgico.

O uso da escória como material de construção surgiu na Inglaterra em 1728. Já o seu uso utilizando a sua propriedade aglomerante foi registrado em 1774 por LORIENT, quando misturou com cal e argila e obteve um produto de qualidade semelhante ao cimento fabricado na época. Em 1882, foi criado na Alemanha o primeiro cimento Portland com adição de escória sendo oficializado o seu uso em 1909.

No Brasil, o primeiro cimento Portland com adição de escória de alto-forno foi produzido em 1952 pela Cimento Tupi S.A em Volta Redonda –RJ já com o seu emprego normalizado pela NBR-5735/1980 – Cimento Portland de alto-forno - Especificação.

As diversas vantagens que proporciona, como: economia de energia, baixo custo por se tratar de um resíduo siderúrgico industrial e pelas propriedades específicas superiores ao cimento Portland comum fazem com que seja um grande campo para pesquisa.

### **3.4 Argamassas**

#### **3.4.1 Conceituação**

A argamassa é o nome genérico atribuído a uma mistura de aglomerante, agregado miúdo e água. As principais características das argamassas – trabalhabilidade, resistência, aderência e durabilidade – variam em função da mistura (COUTO, 2006, p.53).

Os aglomerantes podem ser usados isolados ou adicionados, classificando a argamassa em simples, quando contém apenas um tipo (cimento ou cal) ou mista quando é composta por mais de um (cimento e cal). A destinação da argamassa irá determinar o tipo de aglomerante que será utilizado. As argamassas de cal são muito utilizadas para emboço e reboco pela sua plasticidade e elasticidade e as de cimento pela sua maior resistência em assentamento de alvenaria, de revestimentos, por exemplo.

A incorporação de adições minerais à argamassa, seja na produção ou já inserida no cimento, em geral, resulta na melhoria de características técnicas



do produto final, por modificar a estrutura interna da pasta de cimento hidratada. O uso de adições impacta na redução da porosidade, em alguns casos, ganho de resistência, além de diminuir o calor de hidratação e, por consequência, a redução das fissuras de origem térmica.

Além de modificar as propriedades da argamassa, a incorporação de adições minerais no cimento, substituindo parte do clínquer, contribui na diminuição do impacto da construção civil e de outras indústrias sobre o meio ambiente, ao reduzir o volume de extração de matéria-prima e ao reduzir o volume de extração de matéria-prima e utilizar grandes quantidades de resíduos que seriam descartados.

As adições minerais são classificadas conforme sua ação físico-química em:

- Material pozolânico: é definido pela NBR 12653 (1992), como um material silicoso ou sílico-aluminoso finamente moído, que na presença de água, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio resultando em compostos com propriedades cimentantes. Dentre os diversos materiais pozolânicos podemos citar a pozolana natural, a sílica ativa, a casca de arroz e o metacaulim;
- Material cimentante: como por exemplo, a escória granulada de alto-forno. São materiais que formam produtos cimentantes como o C-S-H sem necessariamente ter que entrar em contato com a presença do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland;
- Fíler: é um material finamente dividido que não apresenta nenhuma atividade química, contribuindo apenas no empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento.

A aplicação da argamassa está ligada à quantidade de aglomerante, à granulometria da areia e à quantidade de água acionada. Na construção civil as argamassas são utilizadas para assentamento de alvenarias, revestimento de alvenarias (chapisco, emboço e reboco), assentamento de revestimentos diversos (cerâmica, pedra, etc.), dentre outros usos.

O aglomerante mais utilizado é o Cimento Portland, caracterizado por ser um pó fino acinzentado que ao ser misturado com a água torna-se uma pasta que adquire uma elevada resistência mecânica ao longo do tempo. O nome surgiu devido à semelhança do cimento hidratado com uma pedra de Portland em Dorset, na Inglaterra.

A fabricação do cimento Portland resulta da moagem de um material denominado clínquer, obtido pela calcinação de uma mistura crua de calcário e argila. Após a queima é feita uma adição de gesso ( $\text{CASO}_4$ ) para retardar as reações de hidratação entre o cimento e a água, que geralmente ocorrem instantaneamente. As matérias-primas usadas na fabricação de cimento Portland se constituem, principalmente, de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro.

Além dos constituintes já existentes, os cimentos se diferenciam, quanto às suas propriedades, não só pela composição química do clínquer, mas também por algumas adições tais como escória de alto-forno, pozolana, materiais carbonáticos e outras, que também vão definir determinadas características a serem consideradas quando do seu emprego (COUTO, 2006, p.36), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de cimento Portland em função das adições

Tipos de Cimento Portland	Sigla	Composição (% de massa)			
		Clínquer	Escória	Pozolana	Materiais Carbonáticos
CP comum	CP I	100	0	0	0
CP com adição	CP I - S	95 – 99		1 – 5	
CP com escória	CP II - E	56 – 94	6 – 34	-	0 – 10
CP com pozolana	CP II - Z	76 – 94	-	6 – 14	0 – 10
CP com filer	CP II - F	90 – 94	-	-	6 – 10
CP de alto-forno	CP III	25 – 65	35 – 70	-	0 – 5
CP pozolânico	CP IV	50 – 85	-	15 – 50	0 – 5
CP de alta resistência inicial	CP V	95 – 100	0	0	0 – 5

Fonte: COUTO, 2006

A qualidade do cimento é avaliada por ensaios definidos nas Normas Brasileiras para garantir as características especificadas pelos fabricantes. Algumas características influenciam diretamente neste processo, como por exemplo:

- Finura do cimento: quanto mais fino o cimento, maior a sua resistência (principalmente nas primeiras idades), maior a trabalhabilidade, maior a impermeabilidade e menor a exsudação (separação da água de amassamento dos concretos devido à sua diferença de densidade em relação ao cimento, prejudicando a resistência e durabilidade dos mesmos);
- Tempo de pega: é o tempo necessário para o enrijecimento da pasta de cimento. Quando é iniciado o processo, a massa não deve ser mais movimentada, já que as reações de hidratação já começaram. Para o construtor é interessante que a pega não seja nem muito rápida e nem muito lenta. Para acelerar ou retardar o processo, os aditivos disponíveis no mercado são muito utilizados;
- Expansibilidade: este fenômeno pode ocorrer após o final da pega ou ao longo dos tempos, criando fissuras;
- Resistência à compressão: é expressada pela relação entre a carga de ruptura e a área de seção transversal de corpos de provas normatizados pela ABNT;
- Calor de hidratação: é a quantidade de calor que resulta das reações de hidratação, durante o processo de endurecimento do cimento. A quantidade varia de acordo com a composição química do cimento, da sua finura, entre outros fatores.

Cal é o nome genérico que se dá ao aglomerante derivado de rocha calcária que, por sua vez, contém basicamente carbonatos de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ . O calcário, após extraído, selecionado e moído, é submetido a elevadas temperaturas em fornos industriais num processo conhecido como calcinação. (COUTO, 2006, p.45).

A areia é o agregado mais utilizado na fabricação da argamassa. Agregados é a denominação genérica dada aos materiais que são acrescentados ao cimento e à água para se obterem as argamassas e os concretos (COUTO, 2006, p.15).

Normalmente os agregados constituem em torno de 70% do volume total dos produtos em que são utilizados, desempenhando um importante papel na redução do custo, redução da retração das pastas formadas por cimento e água e por aumentar a resistência ao desgaste superficial.

Os agregados podem variar de acordo com a sua obtenção em: naturais, obtidos diretamente da natureza como areias e pedregulhos ou artificiais, materiais fragmentados e triturados ou resultantes de processos industriais como areias artificiais, escória de alto-forno, dentre outros. Além do tipo de obtenção da areia, outras características também devem ser observadas:

- Massa unitária: relação entre a massa e o volume dos sólidos, incluindo os vazios ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ );
- Massa específica: relação entre a massa e o volume dos sólidos, excluindo os vazios ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ );
- Composição granulométrica: é a expressão das proporções dos grãos de diferentes tamanhos e é classificada por zonas estabelecidas pela NBR7211/2005 em zona utilizável e zona ótima. Possui influência direta sobre a trabalhabilidade, compactidade e resistência aos esforços mecânicos.
- Dimensão máxima característica: grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (ABNT7211/2005);
- Módulo de finura: soma das porcentagens retidas acumuladas em massa nas peneiras da série normal, dividida por 100;

- Teor de umidade: deve-se ter um cuidado especial com a umidade da areia, pois esse teor pode alterar a quantidade de água e o volume de areia calculado para a confecção dos produtos.

O traço da argamassa depende do emprego em que será utilizada e se refere às proporções dos seus componentes, assim, uma argamassa no traço 1:3 significa que no seu preparo foi utilizado um volume de cimento para três de areia. A preparação das argamassas envolve cuidados relativos à quantidade de aglomerante, areia e água e local de preparação para atender as características necessárias ao seu emprego (Tabela 3).

Tabela 3 – Cuidados na preparação da argamassa

<b>Preparação</b>	<b>Cuidado na preparação</b>
Traço aglomerante/areia	O traço deve ser obedecido rigorosamente, visando ao uso desejado.
Quantidade de água	A quantidade de água deve ser a mínima necessária para permitir as reações de hidratação dos aglomerantes e a trabalhabilidade adequada. Água em demasia enfraquece a resistência das argamassas.
Local adequado	Local limpo e isento de impurezas
Umedecer tijolos e blocos	Umedecer tijolos e blocos a fim de não “roubarem” a água necessária à trabalhabilidade, exceto blocos de concreto conforme norma NBR 7200/98.

Fonte: COUTO, 2006

### 3.4.2 Propriedades das argamassas

Para obtenção de uma argamassa de qualidade é necessário que todos os grãos do material inerte (areia, por exemplo) estejam envolvidos pela pasta (cimento + água) e que os vazios entre os grãos estejam totalmente preenchidos. Uma argamassa de boa qualidade deve satisfazer duas características principais:

- Resistência mecânica: normalmente são utilizadas para resistir a esforços de compressão baixos, mas podem também ser usadas para aguentar esforços consideráveis. Uma argamassa de cimento e areia com um traço de 1:3 e água suficiente para a obtenção de uma adequada trabalhabilidade atinge resistências de compressão e de tração da ordem de 25MPa e 2,0 MPa, respectivamente (COUTO, 2006, p.55).
- Trabalhabilidade: é função da quantidade de água adotada na sua composição, da proporção entre a pasta + areia e da granulometria desta última.

Além das características citadas acima, a argamassa deve satisfazer também a compactidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade.

### **3.4.3 Emprego das argamassas**

O emprego das argamassas está ligado diretamente à sua trabalhabilidade, podendo ser classificadas em: argamassas de assentamento, argamassas de revestimento, argamassas de acabamento e argamassas colantes.

As argamassas de assentamento devem atender as seguintes funções:

- Unir solidamente os componentes da alvenaria;
- Absorver as deformações naturais;
- Distribuir uniformemente as cargas;
- Selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

O traço a ser utilizado deve variar de acordo com o tipo de bloco que será utilizado no assentamento (Tabela 4).

Tabela 4 – Características das argamassas de assentamento

<b>Aplicação</b>	<b>Traço C:Cal:A</b>	<b>Rendimento (m<sup>2</sup>/saco de cimento)</b>
Assentamento de blocos de concreto	1:0,5:6	30
Assentamento de tijolos maciços	1:2:8	10
Assentamento de blocos cerâmicos (tijolo furado)	1:2:8	16

Fonte: COUTO, 2006.

As argamassas de revestimento têm como finalidade melhorar o acabamento e aumentar o conforto termo-acústico da edificação, sendo utilizadas como chapisco, emboço e reboco. Para a sua utilização a granulometria do agregado miúdo tem grande influência, considerando areias grossas para a produção do chapisco, médias para o emboço e finas para o reboco (Tabela 5).

Tabela 5 – Características das argamassas de revestimento

<b>Tipo</b>	<b>Traço</b>	<b>Função</b>	<b>Textura superficial</b>
Chapisco	1:3	Aplicado sobre o concreto ou alvenaria como base para o emboço. Pode ser aplicado como revestimento único em muros e parede.	Áspera e irregular
Emboço	1:2:8	Aplicado sobre o chapisco para o nivelamento da superfície. Proteção contra variações de umidade (uso externo). Base para material cerâmico.	Áspera e regular
Reboco	1:2:9	Aplicado sobre o emboço	Suave e regular

Fonte: COUTO, 2006.

As argamassas de acabamento são utilizadas com a função estética no acabamento final da edificação. No mercado podem ser encontradas em vários tipos, como massa travertina, massa rústica e outras, tais como paredes texturizadas e com aparência.

As argamassas prontas, também conhecidas como argamassas colantes, vêm substituindo as argamassas tradicionalmente utilizadas na construção civil. A argamassa colante é uma mistura de aglomerantes, agregados e aditivos, tendo como característica principal, necessitar apenas da adição de água para ser utilizada na obra (COUTO, 2006, p.57)



## **4. METODOLOGIA**

A metodologia desenvolvida permitiu avaliar a compatibilização de projetos como um dos aspectos responsáveis pela redução de resíduos gerados na construção civil, no caso específico de edifícios residenciais. Foi também avaliado o reaproveitamento de resíduos em edificações.

### **4.1. Compatibilização de projetos: Estudo de caso**

A compatibilização de projetos, ponto primordial na sustentabilidade das construções, é abordada neste trabalho através do estudo de casos. Para que se tenha um bom desempenho na execução da obra é fundamental que durante a fase de projeto haja uma interação entre todos os profissionais envolvidos no processo. A compatibilização de projetos, além de contribuir para otimizar o tempo de execução da obra, evitar desperdício e para melhorar o desempenho da edificação, reduzindo custos adicionais, é fundamental para.

- Evitar problemas de acessibilidade na obra devido à incompatibilidade entre os níveis de implantação do projeto arquitetônico e os níveis do levantamento planialtimétrico;
- Prever necessidade de projeto de contenção, infra-estrutura, entre outros. Esta informação é fundamental na elaboração do orçamento da obra, pois o custo adicional pode gerar prejuízos ou até mesmo inviabilizá-la;
- Visualizar as interferências dos projetos complementares no projeto arquitetônico, como por exemplo, estrutura, instalações elétricas, hidráulicas, gás, prevenção e combate a incêndio, pressurização e exaustão no projeto arquitetônico evitando soluções corretivas já no decorrer da obra;
- Identificar divergências do desenvolvimento do projeto executivo em relação ao projeto legal de arquitetura;
- Identificar diferenças entre o detalhamento do projeto executivo e a especificação de acabamento fornecida para os clientes evitando compra de materiais indevidos;

- Avaliar se locais destinados à área permeável são compatíveis com a realidade do terreno;
- Identificar todos os projetos necessários para a execução da obra evitando gastos adicionais principalmente em relação à manutenção após a entrega da edificação.

Neste trabalho propõe-se fazer uma comparação entre a detecção de casos reais e a necessidade de compatibilidade do projeto e suas soluções através de uma análise inspirada na “Regra de Sitter” ou “Lei dos 5”, muito utilizada para avaliar o custo de prevenção e manutenção de estruturas em relação à durabilidade do concreto. De acordo com esta regra, os custos de recuperação de estruturas crescem segundo uma progressão geométrica de razão, igual a 5 em quatro etapas distintas: fase de projeto, fase de execução, fase de manutenção preventiva e fase de manutenção corretiva. As soluções, quando encontradas ainda na fase de projetos, são mais seguras e baratas, ficando mais caras quanto mais tarde for a intervenção (Tabela 6).

Tabela 6 – Regra de Sitter

<b>Regra de Sitter</b>		
Fases	Custo arbitrário de referência	Fases
Projeto	1	Preocupação no desenvolvimento do projeto
Execução	5	Correções no princípio do processo de execução da obra
Manutenção Preventiva	25	Correções durante a execução da obra
Manutenção Corretiva	125	Correções após a execução da obra

Couto observa que é possível quantificar os custos referentes à compatibilização de projetos nas duas etapas principais, ou seja, projeto legal e projeto executivo, baseando-se na regra de Sitter, a qual aborda os custos da durabilidade em função das diversas etapas de intervenção.

#### **4.1.1 Fase de projeto**

Comparação de dois projetos de terraplenagem de uma única obra, sendo que um se refere aos níveis definidos no projeto legal e o outro ao projeto de arquitetura executivo.

#### **4.1.2 Fase de execução**

Avaliação do projeto executivo de um edifício residencial e a necessidade de adequação durante a fase de execução de obra.

#### **4.1.3 Fase de manutenção preventiva**

Avaliação da execução de manutenção preventiva em um condomínio residencial.

#### **4.1.4 Fase de manutenção corretiva**

Avaliação da execução de manutenção corretiva em um edifício garagem.

### **4.2. Gerenciamento de resíduos**

A argamassa abordada nesta pesquisa foi produzida com o objetivo de se obter uma argamassa de qualidade, de boa resistência e de caráter mais sustentável a partir da utilização de escória de alto-forno em sua constituição.

A dosagem da argamassa foi feita a partir dos dados obtidos através da caracterização dos materiais empregados, cimento e agregados, enfocando aspectos como a qualidade e a composição granulométrica.

Como premissa para os estudos de dosagens, a argamassa com resíduo em sua constituição deveria apresentar aos 28 dias os seus valores de índice de consistência, resistência à compressão e valor de absorção próximo aos valores da argamassa de referência.

#### 4.2.1 Produção da argamassa

O processo de produção corresponde à obtenção dos materiais empregados, preparo da argamassa e a uma cura adequada. A homogeneidade da argamassa foi garantida através da mistura de seus constituintes com a utilização de um misturador mecânico. Os moldes foram preenchidos e os corpos de prova foram mantidos na câmara úmida até a data de ruptura.

A avaliação da argamassa fresca foi feita através do estudo da trabalhabilidade, por meio do ensaio de abatimento do cone conforme estabelecido pela NBR 13276/05. Este método se inicia com a preparação da argamassa no misturador mecânico que é composto por uma cuba de aço inoxidável e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma (FIG. 19).



Figura 19 – Misturador mecânico automatizado  
Fonte: Acervo da autora.

Após o preparo da argamassa, o molde em formato tronco-cônico é posicionado centralizado na mesa e preenchido em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais e aplicado com soquete a cada uma

delas, 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, homoganeamente distribuídos. Após o preenchimento, o molde é retirado e a manivela da mesa acionada de modo que esta caia 30 vezes em aproximadamente 30 segundos, provocando o espalhamento do cone da argamassa. Após a última queda, com o paquímetro são realizadas medidas em três diâmetros em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro. O índice de consistência corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo. De acordo com a NBR 5752/92 o valor do índice de consistência normal é de  $(225\pm 5)$  mm (FIG. 20).



Figura 20 – Mesa de consistência  
Fonte: Acervo da autora.

A determinação da trabalhabilidade visou avaliar a influência do fator água/cimento de 0,50, aliada a escória de alto-forno, a fim de verificar o abatimento e o desempenho da argamassa.

Foram moldados 12 corpos de prova de forma cilíndrica de 5x10 cm, que permaneceram, com exceção dos corpos de prova ensaiados aos 7 dias, por 28 dias na câmara úmida até a data de ruptura.

#### 4.2.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é obtida pelo rompimento dos corpos de prova aos 28 dias, idade considerada padrão para este tipo de ensaio.

Nesta pesquisa a argamassa utilizada no ensaio não seguiu o fator a/c normatizado (0,48) com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade devido ao acréscimo da escória de alto-forno em sua constituição.

A determinação da resistência foi feita através do ensaio de compressão conforme estabelecido pela NBR 7215/96 utilizando um aparelho retificador em substituição ao capeamento com enxofre (FIG. 21), e uma prensa (FIG. 22).



Figura 21 – Retificador de corpo de prova  
Fonte: Acervo da autora.



Figura 22 – Prensa universal  
Fonte: Acervo da autora.

#### 4.2.3 Absorção

Para avaliar a permeabilidade da argamassa foram realizados ensaios de absorção por imersão conforme estabelecido pela NBR 9778/87.

Primeiramente, os corpos de provas foram mantidos em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  durante 72 horas e foi feita a medição das massas em períodos de permanência de 24 horas, 48 horas e 72 horas. A última medição é considerada como o valor de massa da argamassa seca. Após a secagem as amostras foram imersas em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  durante 72 horas com a medição nos mesmos intervalos de tempo. O índice de absorção se refere ao acréscimo de massa devido ao preenchimento dos vazios da argamassa por água.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise da compatibilização de projetos

A análise da compatibilização de projetos foi baseada em um comparativo entre a Regra de Sitter e a Hipótese de Couto (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparativo entre a Regra de Sitter e a hipótese de Couto

Regra de Sitter		Hipótese de Couto	
Fases	Custo arbitrário de referência	Fases	Custo arbitrário
Projeto	1	Preocupação a partir do projeto	X
Execução	5	Correções no princípio do processo de execução da obra	Y
Manutenção Preventiva	25	Correções durante a execução da obra	Z
Manutenção Corretiva	125	Correções após a execução	W

#### 5.1.1 Fase de projeto

Na Tabela 8, a seguir, apresenta-se uma intervenção ainda na fase de projeto. Primeiramente, o projeto de terraplanagem foi elaborado segundo os níveis de implantação previstos no Projeto Legal, sendo posteriormente revisto como base no projeto executivo de arquitetura.

Tabela 8 – Comparativo da compatibilização na fase de projeto

Tipo de projeto	Volume de Corte (m <sup>3</sup> )	Volume de Aterro (m <sup>3</sup> )	Volume de Bota-fora (m <sup>3</sup> )	Número de caminhões (R/6m <sup>3</sup> )	Custo estimado (R\$90,00/Caminhão 6m <sup>3</sup> )
Projeto legal	6.567,38	550,77	6.016,60	1003	R\$90.270,00
Projeto executivo	3.986,97	720,81	2.411,62	402	R\$36.180,00
Diferença	2.580,41	170,04	3.604,98	601	R\$54.090,00



Pode-se observar que o projeto compatibilizado com a revisão dos níveis de implantação do projeto executivo de arquitetura proporcionou uma alteração considerável no volume de corte e aterro e, conseqüentemente, no número de caminhões de bota-fora. Fazendo um paralelo com a “Hipótese de Couto” pode-se considerar que a compatibilização ainda na fase de projeto teve custo arbitrado com valor “x”, considerando apenas o gasto do valor contratado para o projeto. No caso específico da tabela 8 a compatibilização do projeto proporcionou uma economia financeira para o empreendimento estimada em R\$54.090,00 (considerando o preço estimado de R\$15,00/m<sup>3</sup> para bota-fora na região de Belo Horizonte), sendo 2,5 vezes menor que o custo relativo ao projeto legal, além de reduzir significativamente a produção de resíduos gerados pela obra.

### **5.1.2 Fase de execução**

Nesta fase a compatibilização é feita durante a execução da obra. No exemplo a seguir a revisão foi necessária devido à divergência encontrada entre o projeto executivo e o projeto legal de um edifício residencial, já que este último foi aprovado na Prefeitura com uma ampliação da varanda nos quatro primeiros pavimentos. Esta compatibilização acarretou além da revisão do projeto de arquitetura executivo, a revisão do projeto estrutural para cálculo de reforço e a demolição na obra do trecho já concretado.

O projeto executivo de arquitetura fornecido para o cálculo estrutural não apresentou a varanda ampliada, já que possuía a representação de um guarda-corpo entre elas (FIG. 23).

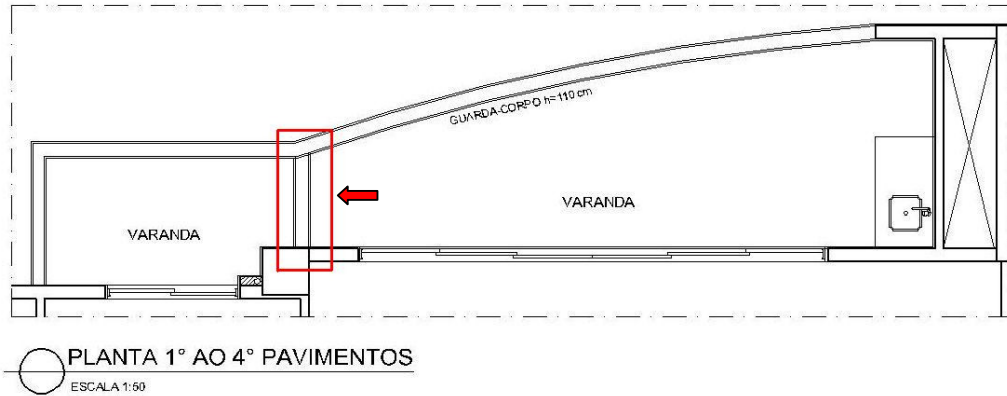
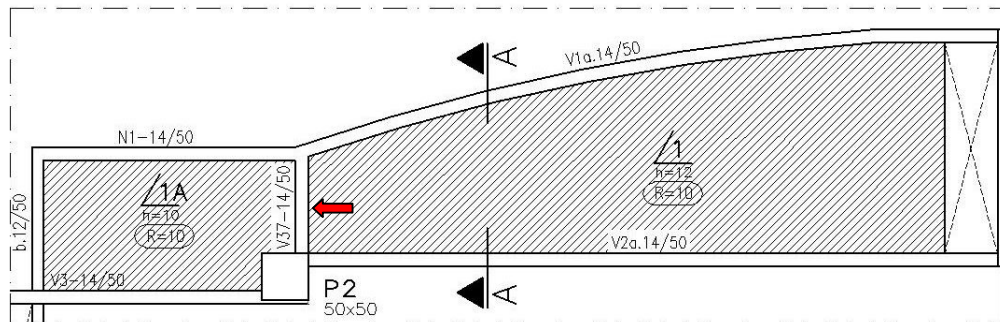


Figura 23 – Projeto executivo de arquitetura

Com esta informação o cálculo estrutural considerou uma viga de mesma dimensão em toda a extensão do guarda-corpo (FIG. 24).

### FORMAS DO 2º, 3º e 4º PAVTOS.

ESC. 1:50



### CORTE AA

ESC. 1:25

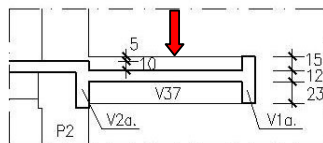


Figura 24 – Projeto estrutural  
Fonte: Projeto Ancora Engenharia

Para solucionar a divergência o projeto executivo de arquitetura foi revisado considerando a ampliação da varanda e encaminhado para a revisão do projeto estrutural (FIG. 25).

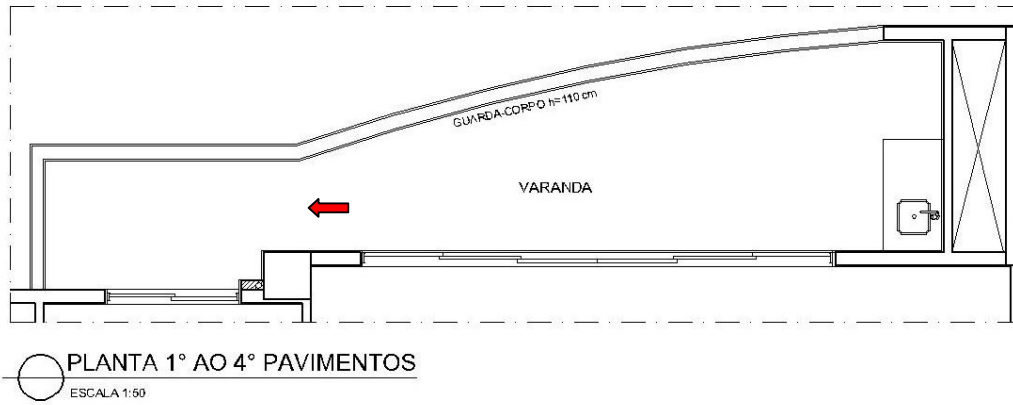


Figura 25 – Projeto executivo de arquitetura revisado

Como a viga já estava concretada no local foi necessário revisar o projeto estrutural calculando o reforço necessário para demolição da viga existente (FIG. 26).

### ALTERAÇÃO DAS FORMAS DA VARANDA

ESC. 1:50

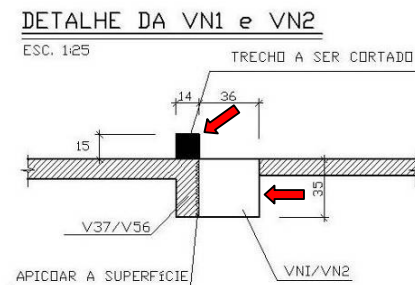
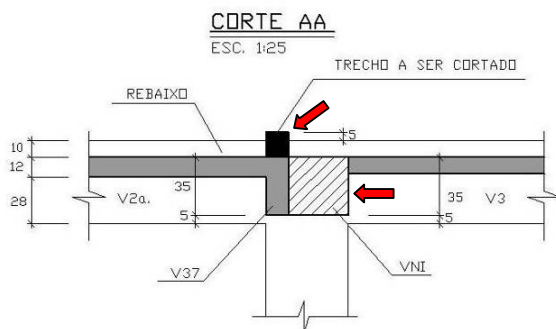
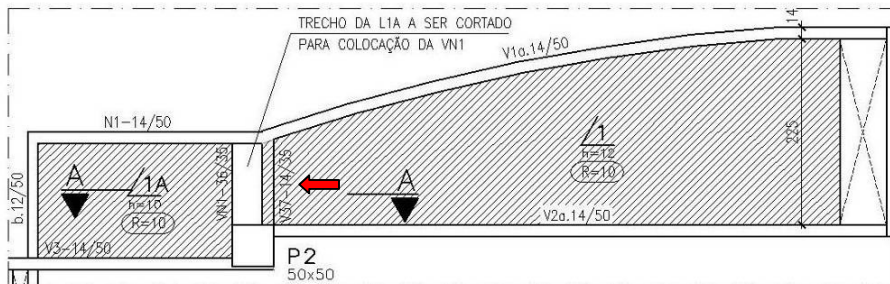


Figura 26 – Projeto estrutural revisado  
Fonte: Projeto Ancora Engenharia.

De acordo com a “Hipótese de Couto” a alteração na fase de execução para solucionar ocorrências não previstas durante a fase anterior corresponde a um custo “y” maior do que se a medida já houvesse sido tomada. A revisão neste caso acarretou não somente a adequação dos projetos de arquitetura executiva e de estrutura, mas também o custo adicional de demolição, bota-fora, execução da nova viga com gastos de concreto, armação e forma, além de transtornos para a execução da obra. Considerando valores do mercado de Belo Horizonte apenas a demolição e execução da nova viga acarretaram um custo adicional de material em torno de R\$1.255,25, sem considerar o aumento dos custos indiretos da obra devido ao atraso gerado na execução.

Outro exemplo observado foi detectado na execução de laje de um edifício residencial. O orçamento da obra foi elaborado com base no projeto estrutural na qual constava a espessura da laje de 5 cm. Durante a execução a obra detectou a existência de um cruzamento de dois eletrodutos. Para solucionar o problema a espessura da laje foi alterada para 7 cm pela obra, gerando custo adicional ultrapassando o valor previsto pelo orçamento (Tabela 9).

Tabela 9 – Compatibilização na fase de execução

<b>Tipo</b>	<b>Área da laje (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>Custo de execução (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Projeto	1.626,68	0,05	402,93	R\$32.771,91
Execução	1.626,68	0,07	402,93	R\$45.880,67
Diferença	1.626,68	0,02	402,93	R\$13.108,76

Considerando que o empreendimento acima é composto por 6 prédios o custo financeiro desta alteração foi de R\$78.652,57, sendo que se algumas medidas tivessem sido tomadas ainda na fase de projeto o custo poderia reduzir consideravelmente ou até mesmo não existir.

### 5.1.3 Fase de manutenção preventiva

Nesta fase são necessárias operações de manutenção para assegurar as boas condições da obra. As figuras 27 e 28 se referem a uma obra de caráter residencial localizada em uma cidade litorânea. Para manter a boa aparência do guarda-corpo metálico e evitar problemas futuros de patologia a pintura está sempre em manutenção, pois a construtora tem que garantir a qualidade durante o período de garantia.

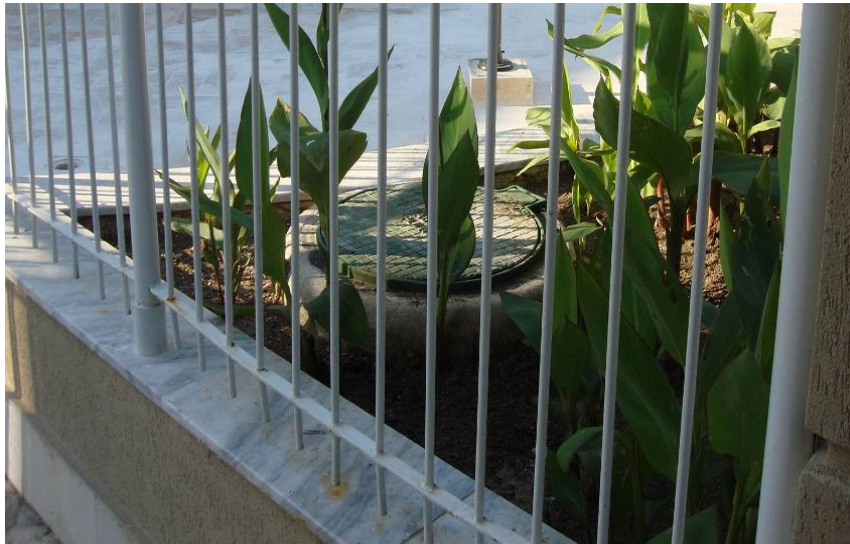


Figura 27 – Guarda-corpo metálico  
Fonte: Acervo da autora.



Figura 28 – Detalhe ampliado do guarda-corpo  
Fonte: Acervo da autora.

Apesar de a manutenção preventiva ter o custo menor do que se a solução tivesse que ser corretiva, ela ainda é “z” vezes superior ao custo incorporado se a solução tivesse sido feita na fase de projeto. Em Belo Horizonte o custo estimado para a pintura é de R\$14,00/m<sup>2</sup>, considerando que para a construtora este gasto é constante durante todo o período de garantia fornecida para os clientes.

#### 5.1.4 Fase de manutenção corretiva

A intervenção nesta fase possui um custo bastante elevado, pois corresponde a trabalhos de diagnóstico, reforço e proteção para solucionar problemas de manifestações patológicas evidentes. O estudo de caso se refere à garagem de um condomínio residencial que foi executada com rebaixamento de lençol freático. Apesar da obra já estar entregue para os clientes, estes não puderam usufruir de imediato do estacionamento coberto, pois depois de concluída a obra a garagem teve que ser interditada por um problema de infiltração de água do subsolo nas paredes e na laje de piso (FIG. 29 e 30).



Figura 29 – Infiltração de água pela parede  
Fonte: Acervo da autora.





Figura 30 – Infiltração de água pelo piso  
Fonte: Acervo da autora.

O custo para a correção da manifestação patológica nesta fase corresponde a um custo “w” vezes superior aos custos da fase de projeto. A solução ideal, segura e de menor custo para solucionar o problema do estacionamento seria se este problema tivesse sido levantado e estudado ainda na fase de projeto, mas como foi uma manutenção corretiva foi necessário fazer o diagnóstico para se estudar a melhor maneira de solucionar o problema. Após muitos estudos a solução encontrada foi executar um piso plaqueado sobre a laje existente criando um sistema de drenagem sob a laje existente. Para resolver a infiltração na parede foi proposta uma parede falsa na frente da existente isolando-as através de um colchão de ar. O custo desta interferência irá ficar em torno de R\$100.000,00.

## **5.2. Análise do gerenciamento de resíduos**

A argamassa adotada nesta pesquisa levou em consideração as orientações indicadas na NBR 7215/96 no que se refere à dimensão dos corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura e ao traço 1:3 (uma parte

de cimento e três de areia). O único fator que não seguiu a normatização foi a relação água/cimento de 0,50 considerada neste trabalho já que a norma indica o valor de 0,48. Esta alteração foi feita melhorar a trabalhabilidade da argamassa em virtude do acréscimo de escória de alto-forno granulada em sua constituição. Para os ensaios foram moldados doze corpos de provas, sendo três para cada tipo de traço.

Os componentes da argamassa considerados no estudo foram: cimento CPIIE-32, areia da PUC-MINAS e escória de alto-forno básica granulada da Açominas. A resistência de compressão adotada aos 28 dias de 32,5 MPa foi estabelecido pela argamassa de referência. A composição química do cimento Portland CPIIE-32, e da escória básica granulada abordada neste trabalho está indicada na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Composição química dos constituintes das argamassas

<b>Compostos químicos</b>	<b>Cimento Portland CPII E 32 (%)</b>	<b>Escória de alto-forno (%)</b>
CaO	58,9 – 66,8	41,70
SiO <sub>2</sub>	19,0 – 24,2	33,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9 – 7,3	14,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8 – 5,0	1,07
MgO	0,8 – 6,0	5,90
SO <sub>3</sub>	0,9 – 3,0	0,82
Índice de Basicidade - V <sup>9</sup>	3,1 – 2,7	1,25
Classificação siderúrgica	-	Básica

Fonte: COUTO, et al, 1990.

O índice de basicidade está relacionado ao tipo de combustível utilizado, sendo que a remoção do enxofre presente no coque é feita com a utilização de cal, enquanto nos altos-fornos a carvão de madeira, isto não se faz necessário, uma vez que este tipo de combustível quase não contém enxofre em sua

$${}^9 \text{ Índice de Basicidade } \quad V = \frac{\%CaO}{\%SiO_2}$$



composição. A escória com maior quantidade de cal é denominada básica e a escória com maior quantidade de sílica é denominada ácida. (STARLING, 1990).

Através da tabela 10 pode-se constatar que o cimento Portland e a escória de alto-forno apresentam os mesmos compostos químicos em diferentes porcentagens. Do ponto de vista siderúrgico a escória em estudo é classificada como básica, uma vez que o teor de cal desta escória é superior ao teor de sílica.

### **5.2.1 Granulometria**

A composição granulométrica é a expressão das proporções dos diferentes tamanhos de grãos que compõe o agregado. Uma composição bem equilibrada proporciona a argamassa uma melhor trabalhabilidade, compactidade e resistência aos esforços mecânicos.

A utilização de escória de alto-forno granulada básica da Açominas permitiu verificar sua influência como agregado miúdo sobre a qualidade da argamassa. Foram feitos três tipos de substituição: 35%, 50% e 100%.

A areia utilizada apresentou um módulo de finura de 2,80 e a dimensão máxima característica de 4,8 mm. Pode-se perceber que a areia ficou dentro da zona ótima estabelecida pela ABNT 7211/05 que estipula o módulo de finura de 2,20 a 2,90 (FIG. 31).

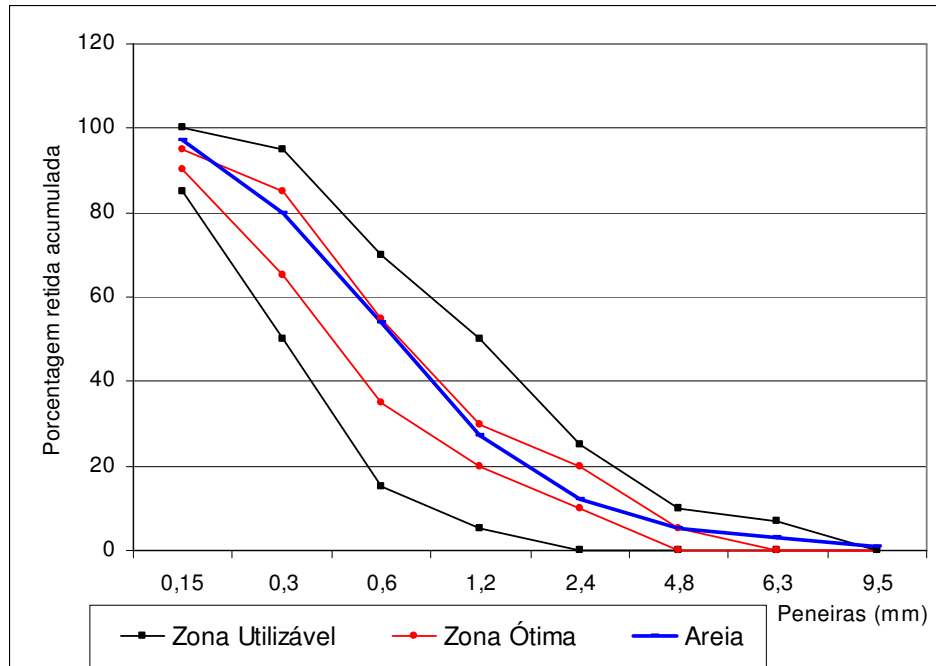


Figura 31 – Curva granulométrica da areia

Para a proporção de 65% de areia e 35% de escória os agregados miúdos apresentaram o módulo de finura de 2,85 e a dimensão máxima característica de 4,8 mm, ficando ainda dentro da zona utilizável (FIG. 32).

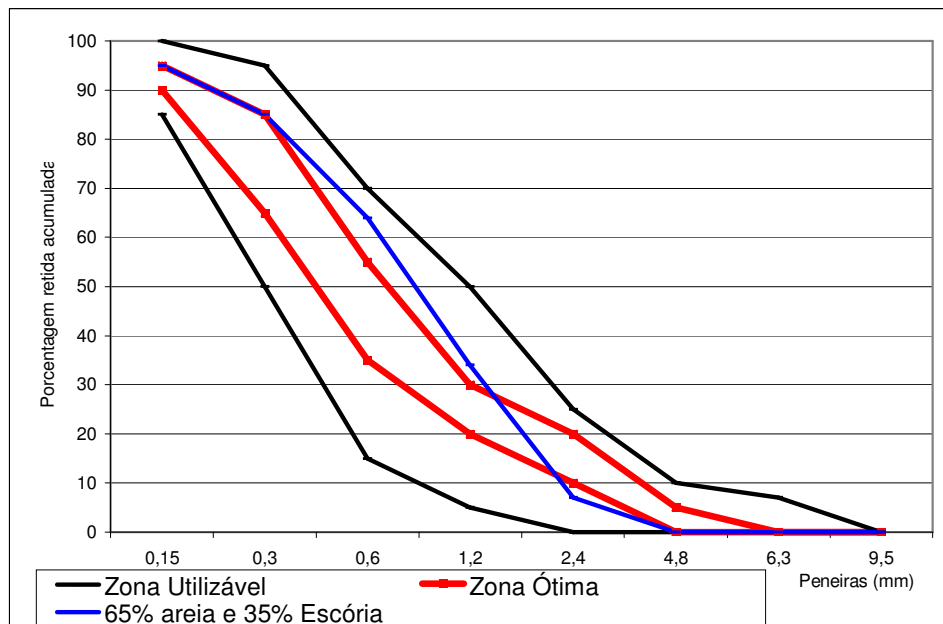


Figura 32 – Curva granulométrica 65% areia e 35% escória

Para a proporção de 50% de areia e 50% de escória os agregados miúdos apresentaram o módulo de finura de 2,96 e a dimensão máxima característica de 4,8 mm (FIG. 33).

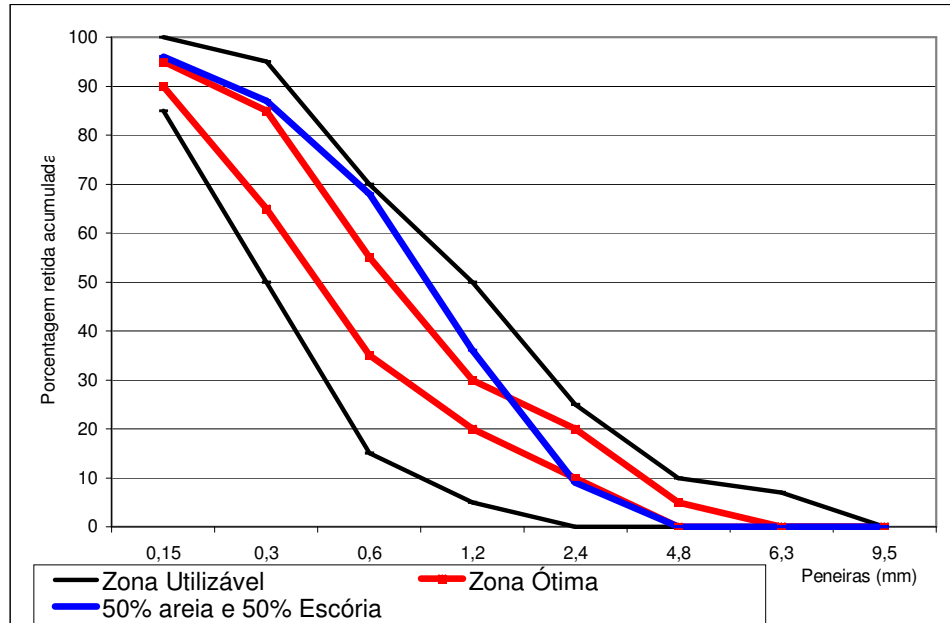


Figura 33 – Curva granulométrica 50% areia e 50% escória

A substituição por 100% de escória apresentou um módulo de finura de 3,63 e a dimensão máxima característica igual a 4,8mm. Pode-se verificar que o módulo de finura da escória ultrapassa o limite da zona utilizável estipulada pela norma (FIG. 34).

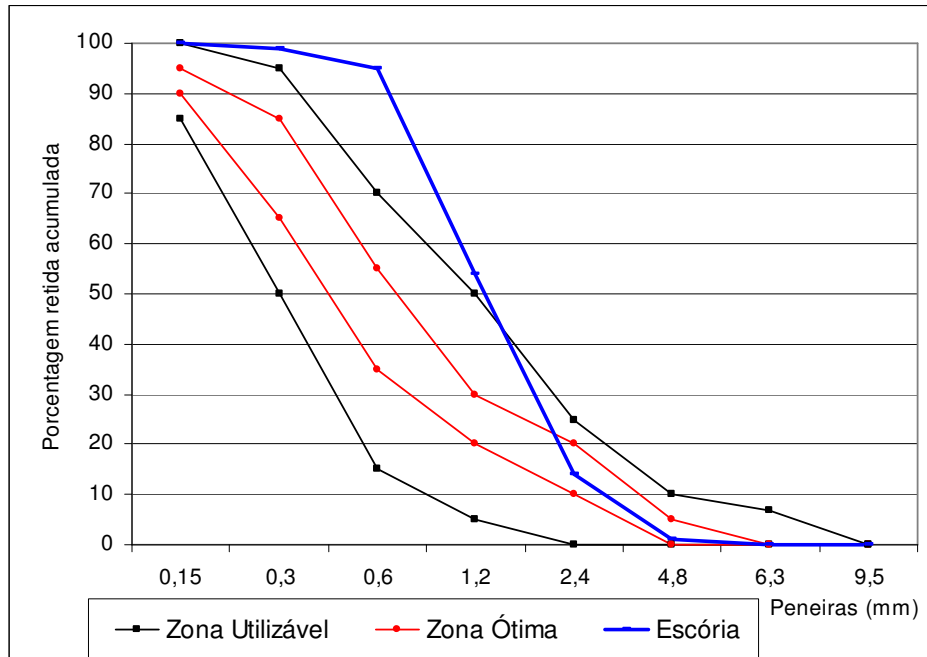


Figura 34 – Curva granulométrica da escória

### 5.2.2 Índice de consistência

O índice de consistência obtido para as argamassas com as variações de porcentagem de escória de alto-forno estão indicados abaixo (Tabela 11).

Tabela 11 – Índice de consistência

Argamassa	Traço (cim:areia:esc)	Fator a/c	Subst. escória (%)	I.C. (mm)
Referência	1:3	0,50	0	223
Escória 35	1:1,95:1,05	0,50	35	217
Escória 50	1:1,5:1,5	0,50	50	217
Escória 100	1:3	0,50	100	Desagregado

:

O valor obtido para a argamassa de referência encontra-se de acordo com o índice de consistência de referência pela norma NBR 5752/92 que é de  $(225 \pm 5)$  mm.

Pode-se perceber que com a exceção da argamassa com Escória 100 que se desagregou a variação de proporção de 35 e 50% tiveram resultados satisfatórios em sua utilização.

### 5.2.3 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das argamassas obtidos se apresentam a seguir (Tabela 12 e FIG. 35).

Tabela 12 – Resistência à compressão

Argamassa	Traço (cim:areia:esc)	Fator a/c	Subst. escória (%)	Tensão ruptura 7 dias (MPa)	Tensão ruptura 28 dias (MPa)
Referência	1:3	0,50	0	23,0	32,5
Escória 35	1:1,95:1,5	0,50	35	31,3	40,2
Escória 50	1:1,5:1,5	0,50	50	29,1	32,8
Escória 100	1:3	0,50	100	16,2	21,1

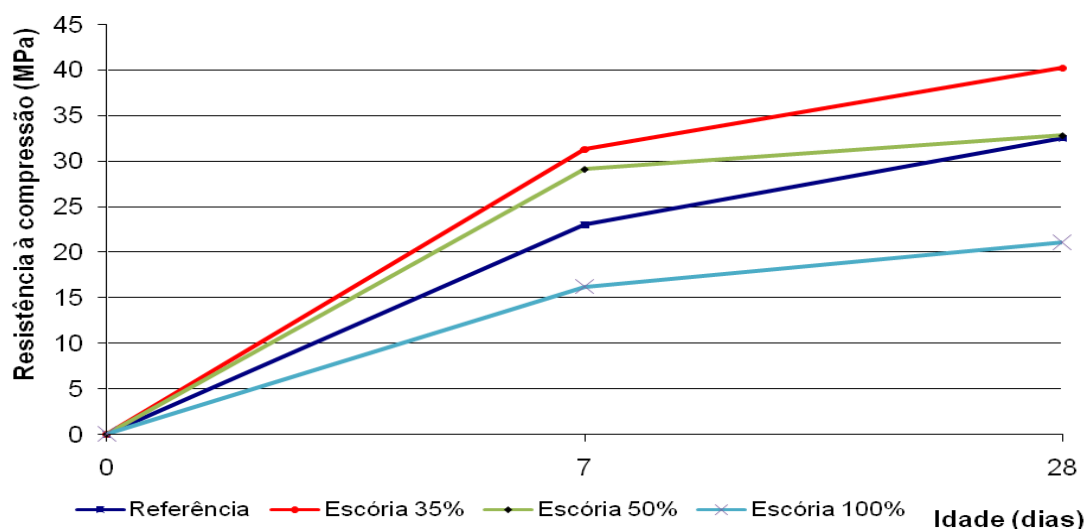


Figura 35 – Comparativo de resistência à compressão x idade de ruptura

Com a análise da tabela e do gráfico acima se pode perceber que as dosagens de 35 e 50% tiveram resultados positivos com relação à dosagem de referência à resistência a compressão aos 28 dias. Apenas a proporção de 100% de escória como agregado ficou abaixo dos valores da argamassa de referência.

#### 5.2.4 Absorção

Os valores obtidos dos ensaios de absorção da argamassa são apresentados a seguir (Tabela 13).

Tabela 13 – Absorção por imersão

<b>Argamassa</b>	<b>Traço (cim:areia:esc)</b>	<b>Fator a/c</b>	<b>Subst. escória (%)</b>	<b>Absorção por Imersão</b>
Referência	1:3	0,50	0	10,8
Escória 35	1:1,95:1,5	0,50	35	8,5
Escória 50	1: 1,5:1,5	0,50	50	8,6
Escória 100	1:3	0,50	100	11,8

No que se refere aos ensaios de absorção, os valores das argamassas com escória de alto-forno em sua constituição ficaram com os valores muito próximos ao índice de absorção da argamassa de referência adotado como parâmetro.

## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa aborda a compatibilização de projetos e o gerenciamento de resíduos como aspectos primordiais para atender a necessidade do mundo atual de construções mais sustentáveis.

A compatibilização de projetos foi analisada através de estudos de casos em quatro etapas distintas de intervenção: fase de projeto, fase de execução, fase de manutenção preventiva e fase de manutenção corretiva.

Na fase de projeto, a intervenção acarretou alteração no projeto envolvendo o coordenador e o projetista e não gerou custo adicional, pois a revisão já fazia parte do contrato.

A alteração durante a execução é um pouco mais complexa que a etapa anterior, pois envolve o coordenador, o projetista e a obra. No caso estudado, além da revisão de projeto, a modificação provocou custos adicionais e geração de resíduos.

A manutenção preventiva envolveu o coordenador, o projetista, a obra e o cliente e os custos adicionais foram muito maiores do que se a medida tivesse sido tomada ainda na fase de projeto.

Por fim, na manutenção corretiva, a intervenção foi necessária para solucionar uma manifestação patológica. Este tipo de solução acarretou um custo elevado e envolveu o coordenador, o projetista, a obra, o cliente e um consultor ou novo projetista para dar uma solução ao problema.

As considerações sobre estas questões permitem evidenciar que quanto mais tarde é verificada a necessidade de intervenção maior o número de pessoas envolvidas, o prejuízo financeiro e a produção de resíduo. Desta forma, a compatibilização ainda na fase de projeto é a solução mais adequada, mais segura, de menor custo e de caráter mais sustentável.

Portanto, é fundamental a interface entre a engenharia e a arquitetura, pois um projeto de arquitetura bem elaborado favorece a execução e a sustentabilidade dos empreendimentos.

No que diz respeito à outra questão enfocada nesta pesquisa, ou seja, o gerenciamento de resíduos foi abordado o reaproveitamento de escória de alto-forno em argamassas para utilização pela construção civil.

Para avaliar a eficácia da utilização de escória de alto-forno, foram produzidos quatro tipos de argamassa: a de referência (sem substituição) e as outras com substituição do agregado por escória nas seguintes proporções 35, 50 e 100%.

Foram realizados ensaios de índice de consistência, resistência à compressão e de absorção de água por imersão. Os resultados obtidos demonstraram que as argamassas nas porcentagens de 35 e 50% de escória apresentaram resultados satisfatórios com relação à argamassa de referência, permitindo a sua utilização.

Considerando-se que o conceito de sustentabilidade preconiza o uso responsável de recursos disponíveis às atividades humanas no presente sem o comprometimento das necessidades das gerações futuras e, ainda, que a construção civil demanda quantidades significativas de insumos de diferentes procedências, tanto a compatibilização de projetos quanto a proposição da utilização de resíduos industriais como matéria-prima para emprego em construções, que foram objeto deste estudo, concorrem para o estabelecimento de posturas sustentáveis no âmbito da interface entre arquitetura e engenharia: a compatibilização de projetos, por contribuir efetivamente para a minimização de perdas no processo construtivo, através das ações discutidas nesta pesquisa; o gerenciamento de resíduos, por sua vez, por aliar a substituição de insumos naturais, cada vez mais escassos, ao processo de reinserção de resíduos industriais na cadeia produtiva.

As questões avaliadas nesta pesquisa evidenciam a importância de um enfoque interdisciplinar na condução e realização das diversas etapas do processo construtivo, revelando, sobretudo, a estreita relação entre os procedimentos de compatibilização projetual e os custos de intervenções na



obra em diferentes momentos do processo construtivo. Nesse sentido, a interface entre a arquitetura e a engenharia é fundamental para propiciar construções de qualidade e que também apresentem soluções inovadoras, aliando aspectos de projeto, coordenação executiva e inserção de novas tecnologias, promovendo práticas profissionais em sintonia com a importância e com a urgência de ações sustentáveis em uma área fundamental às atividades humanas como é a construção civil.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752: **Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 1997.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna.** 2ª ed. São Paulo: Perspectiva, 1989. 813p.

COUTO, C. C.; SILVA, J.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil,** 2ª ed. Revisada. Editora UFMG, 2006. 103p.

COUTO, C.; STARLING, T. **Estudo do aproveitamento de escória de alto-forno como agregado miúdo na produção de argamassas e concreto.** In: 10º ENCO: Encontro Nacional da Construção, Gramado, p.811-833, Vol. 2, 1990.

COUTO, C.; STARLING, T., SILVA, J. **Estudo do Potencial Pozolânico da Escória de Alto Forno**. In: 43ª Reunião Anual da SBPC, 1991, Rio de Janeiro. 43ª Reunião Anual da SBPC, 1991.

COUTO, C.; STARLING, T.; LEMOS, B. **Pressupostos para a integração Engenharia/Arquitetura**. In: 58ª Reunião Anual da SBPC, 2006, Florianópolis. 58ª Reunião Anual da SBPC, 2006.

CURTIS, William J. R. **Arquitetura moderna desde 1900**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 736 p.

ESSENCIAL ARCHITECTURE. Art Nouveau Architecture. Disponível em: <<http://www.essential-architecture.com/STYLE/STY-M03.htm>>. Acessado em: 20 fev. 2010.

JONH, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos da construção**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

LEMOS, A. C. Carlos. **O que é arquitetura**. 7ª Ed. São Paulo: Brasiliense, 2003. 85p.

MELHADO, Silvio Burrattino *et al.* **Coordenação de projetos de edificações**. 1ª ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 115p.

MILLER, Judith. **Furniture world styles from classical to contemporary**. London: Dorling Kindersley Limited, 2005. 560p.

PEVSNER, Nikolaus. **Origens da arquitetura moderna e do design**. 3ª Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001. 224p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Lei nº. 7.166 de 27 de ago de 1996. Lei **de parcelamento, ocupação e uso do solo do município de Belo Horizonte**, Belo Horizonte, 1996. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br>>. Acessado em: 10 jan. 2010.

WIKIPÉDIA. **Walter Gropius**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Walter\\_gropius](http://pt.wikipedia.org/wiki/Walter_gropius)>. Acessado em: 20 fev. 2010.

## 8. BIBLIOGRAFIA

ANDERY, Paulo R.P. *et al.* **Experiências em torno à implementação de sistemas de gestão da qualidade em empresas de projeto.** In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, Belo Horizonte, 2004.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli *et al.* **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em: 10 out. 2009.

ARGAN, Giulio Carlo. **História da arte como história da cidade.** 1ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1992. 280p.

ARGAN, Giulio Carlo. **Walter Gropius e a bauhaus.** Rio de Janeiro: Editora José Olympio Ltda, 2005. 255p.

BACKER, Geoffrey H. **Le Corbusier uma análise da forma.** 1ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998. 385p.

BENEVOLO, Leonardo. **A cidade e o arquiteto.** São Paulo: Perspectiva, 1984. 146p.

BERTEZINI, Ana Luisa. **Métodos de avaliação do processo de projeto de arquitetura na construção de edifícios sob a ótica da gestão da qualidade.** 2006. 193f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, São Paulo.  
Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05042006-091119>>. Acesso em: 10 out. 2009.

BOLORINO, Heloísa; CINCOTTO, Maria Alba. **Adequação de traços de argamassa mista conforme o tipo de cimento.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, 1999.

CEOTTO, L.; BANDUK, R.; NAKAKURA, E. *Revestimentos de Argamassas*. Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96p.

CHOAY, Françoise. **O urbanismo, utopias e realidades, uma antologia**. São Paulo: Perspectiva, 1979. 350p.

COUTO, C.; SILVA, J.; ASSIS, S. **Aplicabilidade da escória de alto-forno em argamassas de assentamento e argamassas de revestimento**. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1999, Vitória. Anais Volume I, 1999. p.349-358.

COUTO, Carmen Ribeiro *et al.* **Aplicabilidade da escória de alto-forno em argamassas de assentamento e argamassas de revestimento**. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, 1999.

FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. 2002. 327p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FERRO, Sérgio. **Arquitetura e Trabalho Livre**. São Paulo: Cossac Naify, 2006. 452p.

FIORITO, Antonio J.S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Pini, 1996. 221p.

LOOS, Adolf. **Ornament and Crime**. Riverside, Califórnia: Ariadne Press, 1998. 204p.

MANZIONE, Leonardo. **Estudo de métodos de planejamento do processo de projeto de edifícios**. 2006. 250f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, São Paulo.

Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08032007-164926>>. Acesso em: 15 dez. 2009.

NASCIMENTO, Gizela Barbosa. **Caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo ART**

**DECÓ.** 2008. 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PAIM, Gilberto. **A beleza sob suspeita: o ornamento em Ruskin, Lloyd Wright, Loos, Le Corbusier e outros.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 2000. 147p.

PETRUCCI, Eladio G.Reguião. **Materiais de construção.** 8ª ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 435p.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Pró-Reitoria de Graduação. Sistema de Bibliotecas. **Padrão PUC Minas de normalização: normas da ABNT para apresentação de artigos de periódicos científicos.** Belo Horizonte, 2007. Disponível em <<http://www.pucminas.br/biblioteca/>>. Acesso em: 04 mar. 2010.

SOUZA, Ana Lúcia Rocha; MELHADO, Silvio Burrattino. **Preparação da execução de obras.** São Paulo: O nome da rosa, 2003. 144 p.

VAL, Júlio Gomes. **Avaliação do desempenho de camada protetora em concreto submetido a meio quimicamente agressivo.** 2007. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VILLELA, Dianna Santiago. **A sustentabilidade na formação atual do arquiteto e urbanista.** 2007. 179f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.