

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
MESTRADO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

MARIANA PAES DA FONSECA MAIA

**ECODOR: PROPOSTA DE MISTURA SUSTENTÁVEL DESTINADA À  
FABRICAÇÃO DE DORMENTES DE CONCRETO**

JUIZ DE FORA  
2012

MARIANA PAES DA FONSECA MAIA

**ECODOR: PROPOSTA DE MISTURA SUSTENTÁVEL DESTINADA À  
FABRICAÇÃO DE DORMENTES DE CONCRETO**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora constituída de acordo com as Normas estabelecidas pelo Colegiado do Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

**Área de concentração:  
Ambiente Construído**

**Orientadora: D.Sc. Maria Teresa Gomes Barbosa**

JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFJF  
2012

MAIA, Mariana Paes da Fonseca

ECODOR: Proposta de Mistura Sustentável Destinada à Fabricação de Dormentes de Concreto / Mariana Paes da Fonseca Maia. – 2012. 118 f.: il

Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

1. Dormente de Concreto,
2. Inovação Tecnológica,
3. Desenvolvimento Sustentável

MARIANA PAES DA FONSECA MAIA

## **ECODOR: PROPOSTA DE MISTURA SUSTENTÁVEL DESTINADA À FABRICAÇÃO DE DORMENTES DE CONCRETO**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora constituída de acordo com as Normas estabelecidas pelo Colegiado do Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

**Área de Concentração: Ambiente Construído**

Aprovada em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Maria Teresa Gomes Barbosa – D.Sc. – Orientadora  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. José Alberto Barroso Castañon – D.Sc. – Coorientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Eduardo Gonçalves – D.Sc.  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof.<sup>a</sup> Zélia Maria da Costa Ludwig – D.Sc.  
Universidade Federal de Juiz de Fora

*À minha filha Ana Laura,  
minha maior fonte de inspiração e motivação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Nunca, em todos os meus anos de estudo, tive tantos motivos e pessoas para agradecer.

Em primeiro lugar, sou imensamente grata a Deus, por ter me erguido e amparado em tantos momentos de dificuldade e desesperança. Por ter me dado força e perseverança para que eu me levantasse e seguisse em frente incontáveis vezes.

Agradeço a minha professora e orientadora Maria Teresa Gomes Barbosa, pela confiança dedicada e generosidade, pela paciência ao me fornecer todo o conhecimento que precisei (até mesmo os mais elementares da Engenharia Civil) e principalmente, pela compreensão das minhas angústias de aluna e mãe e pelos valiosos conselhos.

Aos meus pais, Maria Elena e José, por terem me dado todas as condições necessárias para que eu chegasse até aqui, emocionais e financeiras. E, principalmente, por me ensinarem que nada na vida se conquista sem sacrifícios e renúncias.

À minha segunda, mas não menos importante família: os Maias. Ao meu sogro João, pelos inúmeros conselhos profissionais; aos meus cunhados Cícero e Danilo, pelo carinho e atenção como “titios” e, em especial, à minha sogra Solange, por ter tornado verdadeiramente possíveis mais esses anos de estudo, cuidando da minha filha com a mesma doação e amor com que cuidou e ainda cuida de todos.

Ao meu marido Douglas, pela cumplicidade e paciência, sobretudo nos momentos de ansiedade e nervosismo, e pelo apoio e suporte dispensados ao longo de todos esses anos. À nossa filha Ana Laura que, embora ainda não entenda a ausência às vezes inevitável, tem me perdoado antecipadamente e me renovado de energia e fé todos os dias.

Ao meu coorientador José Alberto Barroso Castañon, pelas preciosas dicas e informações.

Aos professores doutores Zélia Maria da Costa Ludwig e Eduardo Gonçalves, pelas contribuições e disponibilidade na composição e enriquecimento da minha banca de

avaliação e ao professor doutor Luiz Carlos Barbosa, e sua equipe da Universidade Estadual de Campinas, pelo apoio técnico necessário.

Ao colega e mestre White, pelo suporte técnico imprescindível.

À CAPES, pelo financiamento que me permitiu a dedicação exclusiva a esta pesquisa.

A todos os meus demais familiares que, das mais diversas formas e complementarmente, sempre torceram pelo meu sucesso profissional e pessoal.

A todos os demais professores do mestrado em Ambiente Construído que, sem exceções, foram fundamentais, cada um a sua maneira, para a minha formação. Ao Fabiano e ao Igor, pela atenção e disponibilidade.

A todos os meus colegas de turma, pelos momentos inesquecíveis e pelo companheirismo.

Aos professores do curso de Engenharia de Produção da UFJF, pelo carinho de sempre, e por terem me aberto tantas portas, desde a graduação.

Aos demais funcionários da UFJF, dentre eles laboratoristas, serventes, funcionários da cantina, do xerox, da biblioteca, enfim, a todos aqueles que facilitaram e suavizaram meus dias com dedicação e boas risadas.

## RESUMO

O Brasil é um país de grandes dimensões e as ferrovias, nesse contexto, desempenham um papel fundamental viabilizando o transporte de grandes volumes e, também, de passageiros, principalmente ao se considerar a ascensão do seu mercado interno e externo. A presente pesquisa constitui-se de um estudo da viabilidade técnica, comercial e econômica de uma mistura destinada à fabricação de dormentes de concreto armado, observando os fatores ambientais, sociais e econômicos que integram o conceito de desenvolvimento sustentável. Neste contexto, empregou-se uma mistura constituída por cimento Portland, agregado miúdo (proveniente do rejeito do beneficiamento do mármore), agregado graúdo (proveniente do britamento de rocha gnáissica), fibra de vidro (rejeitos de fibra ótica) e água; avaliada nos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por complexão diametral, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade e absorção de água por imersão e capilaridade, segundo as normas brasileiras vigentes. Efetuou-se, ainda, um planejamento tecnológico para análise das possibilidades de inserção do produto resultante no mercado, onde foi possível concluir a viabilidade do emprego dessa nova mistura.

**Palavras-chave:** Dormente de concreto, inovação tecnológica, desenvolvimento sustentável, ECODOR



## **ABSTRACT**

Brazil is a large country and the railroads in this context play a key role enabling the transport of large volumes and also passengers, especially considering the rise of its domestic and foreign markets. This research is by a study of technical and economic feasibility of a mixture used in the manufacture of concrete sleepers, observing the environmental, social and economic problems that integrate the concept of sustainable development. In this context was used a mixture of Portland cement, fine aggregate (from the waste of the marble processing), coarse aggregate (from the stamping gneisses) glass fiber (optical fiber waste) and water, measured in compressive strength, tensile strength by diametrical complexion, the bending tensile strength, modulus of elasticity and water absorption by immersion and capillarity tests, according to the standards generally prevailing. Finally, was performed a technology planning to analyse the possible insertion of the resulting product on the market, where it was possible to conclude the viability of this new mixture.

**Keywords:** Concrete sleeping, technological innovation, sustainable development, ECODOR

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	27
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	29
<b>2. DORMENTES DE CONCRETO NA LINHA FÉRREA .....</b>	<b>31</b>
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	31
2.2 DORMENTES DE CONCRETO TRADICIONAIS .....	32
2.3 O EMPREGO DE DORMENTES DE CONCRETO NO BRASIL.....	37
<b>3. CONCRETOS SUSTENTÁVEIS .....</b>	<b>42</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	42
3.2 AGREGADOS RECICLADOS .....	46
3.3 EMPREGO DE FIBRAS AO CONCRETO .....	49
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS .....</b>	<b>57</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	57
4.2 MATERIAIS.....	58
4.3 MÉTODOS.....	59
4.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	60
4.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	61
4.3.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	61
4.3.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE .....	62
4.3.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO .....	64
4.3.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	65
4.4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	66

<b>5. PLANEJAMENTO TECNOLÓGICO.....</b>	<b>72</b>
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	72
5.1.1 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E COMERCIAL E DO IMPACTO AMBIENTAL E SOCIAL (EVTECIAS).....	75
5.1.2 O PLANEJAMENTO TECNOLÓGICO DE UM PRODUTO DE ORIGEM ACADÊMICA.....	77
5.2 O PLANEJAMENTO TECNOLÓGICO DO ECODOR .....	82
5.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA .....	84
(CONTINUA).....	86
(CONCLUSÃO).....	87
5.2.2 LEVANTAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS DE APLICAÇÃO .....	87
5.2.3 ASPECTOS REGULATÓRIOS .....	89
5.2.4 ANÁLISE MERCADOLÓGICA.....	90
5.2.5 RECURSOS NECESSÁRIOS .....	93
5.2.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E GERENCIAL .....	95
5.2.7 ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS .....	95
5.2.8 ANÁLISE ESTRATÉGICA .....	97
5.2.9 PROJEÇÕES ECONÔMICO-FINANCEIRAS E INVESTIMENTOS .....	99
5.2.10 INTEGRAÇÃO TECNOLOGIA – PRODUTO - MERCADO .....	105
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>106</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	106
6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	108
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Investimentos nas malhas concedidas a iniciativa privada (em milhões de R\$). 18	18
<b>Figura 2</b> – Produção do Transporte Ferroviário (em bilhões de TKU) .....	19
<b>Figura 3</b> – Planejamento, investimento e desenvolvimento das malhas ferroviárias – PAC 2 .....	20
<b>Figura 4</b> – Novos projetos previstos pelo Programa de Investimentos em Logística .....	21
<b>Figura 5</b> – Matriz de transportes atual e planejada no Brasil (em %).....	21
<b>Figura 6</b> – Matriz de transportes no Mundo (em %) .....	22
<b>Figura 7</b> - Agenda Estratégica para o Setor de Transporte Ferroviário de Cargas .....	24
<b>Figura 8</b> – Elementos de uma via permanente tradicional .....	31
Figura 9 – Dormente Monobloco.....	33
Figura 10 – Dormente Bibloco .....	34
Figura 11 – Fixação <i>Pandrol</i> .....	35
<b>Figura 12</b> – Status das obras da Ferrovia Norte-Sul – Trecho Sul.....	39
<b>Figura 13</b> – Traçado do Trem de Alta Velocidade (Campinas-São Paulo-Rio de Janeiro)...	40
<b>Figura 14</b> – Confecção manual dos corpos-de-prova .....	58
<b>Figura 15</b> – Resistência à tração por compressão diametral (3 dias) .....	69
<b>Figura 16</b> – Resistência à tração por compressão diametral (7 dias) .....	69
<b>Figura 17</b> – Resistência à tração por compressão diametral (28 dias) .....	70
<b>Figura 18</b> – Resistência à tração na flexão (28 dias).....	70
<b>Figura 19</b> – O processo de transferência da tecnologia acadêmica para o mercado.....	73
<b>Figura 20</b> – O processo de planejamento tecnológico de uma empresa de base tecnológica .....	79
<b>Figura 21</b> – Os âmbitos do EVTECIAS, Plano Tecnológico e Plano de Negócios Estendido e escopo do trabalho .....	82
<b>Figura 22</b> – Relações metodológicas entre EVTECIAS e Planejamento Tecnológico .....	83
<b>Figura 23</b> – Estrutura do Planejamento Tecnológico do Ecodor .....	83
<b>Figura 24</b> – Sistema de Valores e Relação de Forças do ECODOR .....	97

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Principais investimentos das Concessionárias em milhões (R\$).(*até julho de 2011) .....	23
<b>Tabela 2</b> - Propriedades mecânicas típicas de concretos reforçados com fibra de vidro AR (na idade de 28 dias) .....	52
<b>Tabela 3</b> - Propriedades mecânicas típicas de fibras sintéticas .....	55
<b>Tabela 4</b> – Característica dos agregados .....	59
<b>Tabela 5</b> – Ensaio, tempo de cura e número de corpos de prova. ....	60
<b>Tabela 6</b> – Resultados obtidos nos estudos efetuados por BARBOSA (2009).....	66
<b>Tabela 7</b> – Resultados dos ensaios.....	67
<b>Tabela 8</b> – Resultados obtidos na análise estatística para a resistência à compressão e resistência à compressão diametral – Valores de F .....	68
<b>Tabela 9</b> – Matriz de priorização das aplicações para a mistura.....	89
<b>Tabela 10</b> – Demanda de dormentes estimada até 2018 .....	100
<b>Tabela 11</b> – Consumo de materiais para a fabricação de um dormente .....	101
<b>Tabela 12</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 1).....	101
<b>Tabela 13</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 2).....	102
<b>Tabela 14</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 3).....	102
<b>Tabela 15</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 4).....	102
<b>Tabela 16</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 5).....	103
<b>Tabela 17</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Concreto convencional) .....	103
<b>Tabela 18</b> – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário Ideal) .....	104

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Resumo das características de cada tipo de dormente .....	28
<b>Quadro 2</b> - Critérios para avaliação do potencial mercadológico da tecnologia.....	78
<b>Quadro 3</b> – Patentes relacionadas (Concreto reforçado com fibras naturais, poliméricas e de vidro) .....	85
<b>Quadro 4</b> – Patentes relacionadas (Dormentes de concreto).....	86
<b>Quadro 5</b> – Fabricantes de dormentes no Brasil .....	91
<b>Quadro 6</b> – Ensaio em protótipos de dormentes monoblocos. (NBR 11709 (2010)).....	94
<b>Quadro 7</b> – Ensaio em protótipos de dormentes bi-blocos. (NBR 11709 (2010)).....	94
<b>Quadro 8</b> – Matriz SWOT – ECODOR .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIFER	Associação Brasileira da Indústria Ferroviária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção
ACI	American Concrete Institute
ALL	América Latina Logística
ANP TRILHOS	Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AREMA	American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association
ARGAD	Argamassa de Alto Desempenho
BCSD-GM	Business Council for Sustainable Development – Gulf of México
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CB-06 -	Comitê de Normas Metro-ferroviárias da ABNT
CENTEV	Centro Tecnológico de Desenvolvimento Regional de Viçosa
CESAMA	Companhia de Saneamento Municipal
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CPV	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CRITT	Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia
ECODOR	Dormente Ecológico (nome comercial)
EFC	Estrada de Ferro Carajás
ENBT	Empresa Nascente de Base Tecnológica
EVTECIAS	Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial e do Impacto Ambiental e Social
FCK	Resistência à compressão do concreto
GDP	Gestão do Desenvolvimento de Produtos
HEAVY HAUL	Via de Carga Pesada

INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
MAGLEV	Trem de Levitação Magnética
NBR	Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PII	Programa de Incentivo à Inovação
PND	Programa Nacional de Desestatização
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S.A.
SCB-06:100	Comissão de Estudo de Dormentes e Lastros (CB-06 da ABNT)
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SECTES	Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior
SIMEFRE	Sindicato Interestadual da Indústria de Materiais e Equipamentos Ferroviários e Rodoviários
SWOT	Matriz de Strengths (Forças), Weakness (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças)
TAV	Trem de Alta Velocidade
TKU	Toneladas por Quilômetro Útil
TLSA	Transnordestina Logística S.A.
TPM	Trilogia Tecnologia – Produto - Mercado
TRM	Technology Roadmapping (Mapeamento Tecnológico)
TSG	Technology Stage-Gate (Pontos de Decisão da Tecnologia)
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USP	Universidade de São Paulo



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um país caracterizado pelas suas grandes dimensões, possui uma área total de 8.514.876 km<sup>2</sup> que inclui 8.456.510 km<sup>2</sup> de terra, sendo o maior país da América do Sul e o quinto maior do mundo em área territorial. Neste contexto, as ferrovias, cada dia mais, desempenham um papel fundamental na viabilização do transporte de grandes volumes e de passageiros. Deve-se considerar, inclusive, seu mercado interno e externo, em ascensão, necessitando, conseqüentemente, de materiais que garantam a durabilidade, a resistência e a eficiência das vias permanentes novas e/ou reformadas.

Entre a década de 80 e meados da década de 90, principalmente, o modal ferroviário experimentou uma significativa estagnação tendo como principal motivo o privilégio dado a investimentos em outros modais (em especial o rodoviário), como suposta solução para a integração e escoamento da produção. Além disso, a escassez de investimentos em infraestrutura, nesse período, correlaciona-se com as restrições orçamentárias observadas nas empresas estatais até 1992, ano em que a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) foi incluída no Programa Nacional de Desestatização (PND).

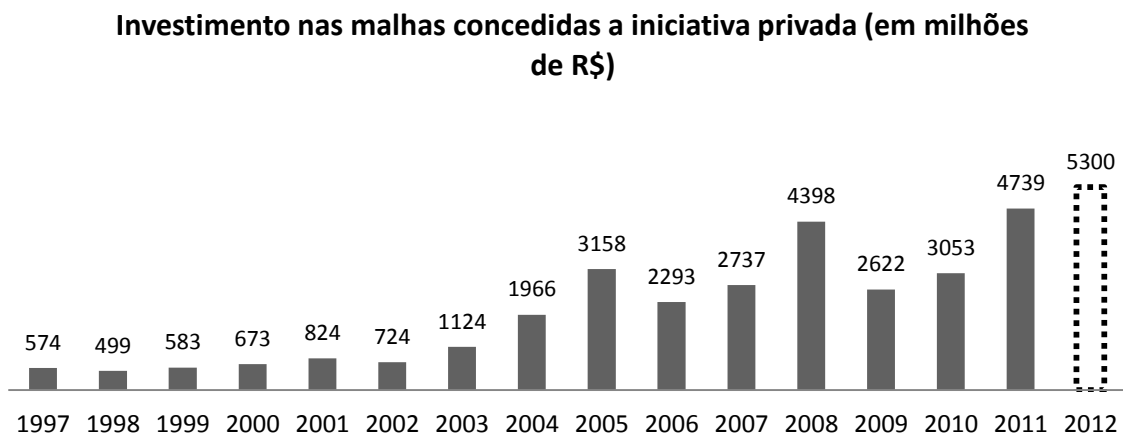
A desestatização do setor ferroviário representou um forte impulso nos investimentos. Entre 1997 a 2011, a União e as concessionárias investiram R\$ 29,97 bilhões nas malhas existentes concedidas à iniciativa privada. Apenas no ano de 2011, o investimento foi de R\$ 4,59 bilhões, 56,3% superior ao realizado em 2010, sendo o maior em todos os tempos. Esses investimentos, por sua vez, promoveram o aumento de 112 % na produção ferroviária nacional (em bilhões de TKU), comparando-se os anos de 1997 e 2011 (ANTF, 2012).

Segundo a Política Nacional de Transportes (BRASIL, 2010), a priorização dos investimentos em transportes ferroviários e hidroviários produzirá benefícios econômicos resultantes de menores custos de operação e frete por TKU (quantidade de toneladas úteis transportadas), em relação ao transporte rodoviário, além de

resultar em menores emissões de gases poluentes na atmosfera, contribuindo com a melhor qualidade ambiental.

Outra consideração favorável aos investimentos no setor, sob o ponto de vista ecológico, está na sua capacidade de transportar cargas pesadas, com elevada eficiência energética, principalmente se considerarmos os grandes deslocamentos, o que compensa satisfatoriamente seus altos custos de investimento.

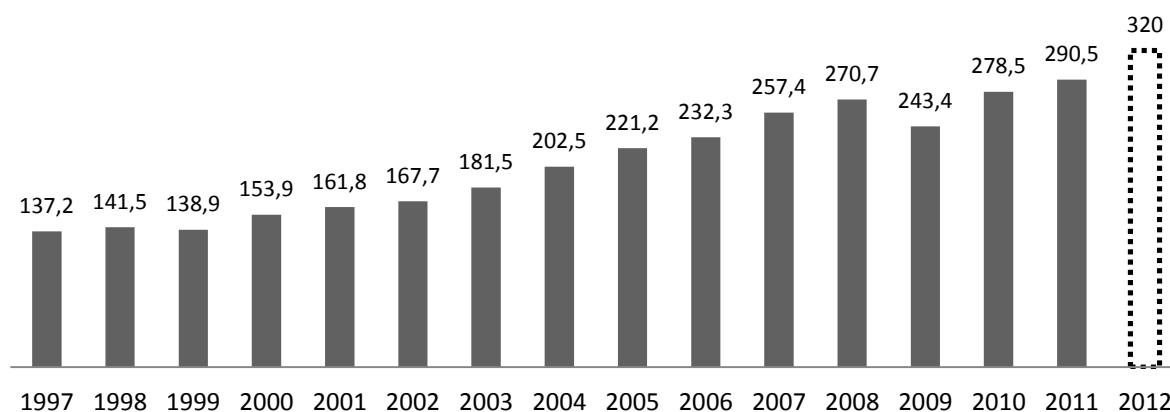
A aprovação do Plano Nacional de Viação Ferroviária pelo Congresso Nacional, em 2009, também representou um novo cenário para o modal ferroviário no país. Isso pode ser evidenciado pelo acréscimo do investimento em 80,73% entre os anos de 2009 a 2011, conforme Figura 1.



**Figura 1** – Investimentos nas malhas concedidas a iniciativa privada (em milhões de R\$).  
Fonte: ANTF (2012)

Esse acréscimo justifica, por sua vez, o aumento de 19,35% na produção no mesmo período, conforme evidenciado na Figura 2. Como exemplo, cita-se a previsão do acréscimo de mais de oito mil quilômetros de ferrovias a malha nacional, contemplando, entre outros, o projeto do TAV (Trem de Alta Velocidade) que ligará São Paulo/ Campinas/ Rio de Janeiro; da expansão da ferrovia Norte-Sul e a construção da nova Transnordestina.

### Produção ferroviária (bilhões de TKU)



**Figura 2** – Produção do Transporte Ferroviário (em bilhões de TKU)  
Fonte: ANTF (2012)

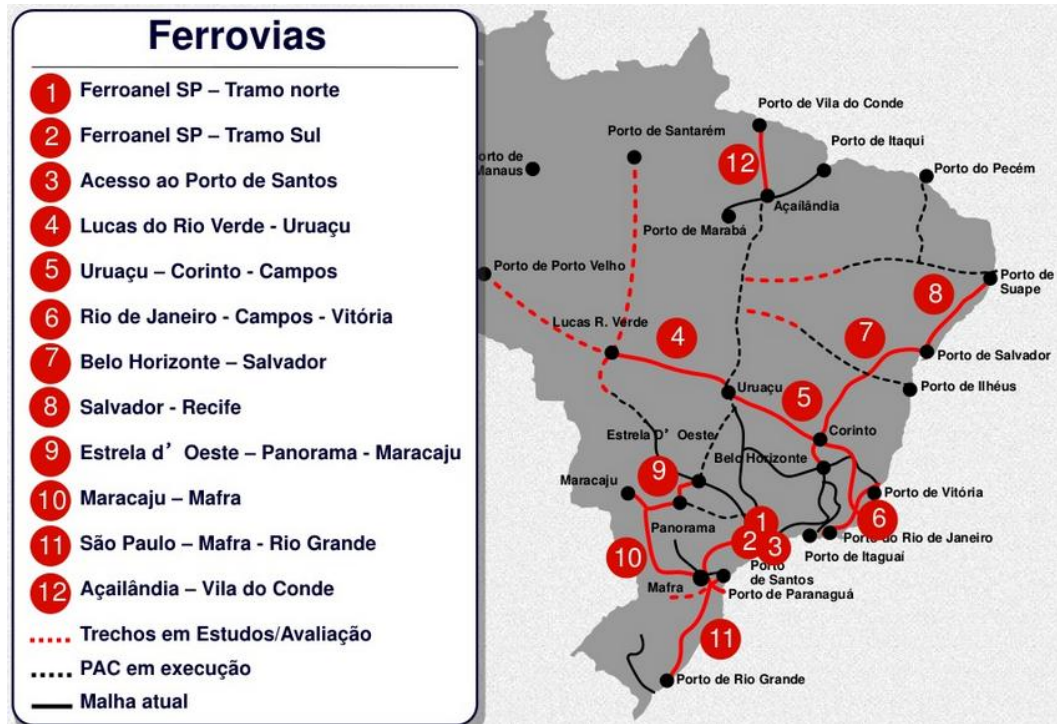
Considerando a segunda fase do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC II) e as ações em processo de conclusão da primeira fase, o Governo Federal vem investindo cerca de R\$ 46 bilhões em 4,6 mil quilômetros de ferrovias que deverão ser construídas ou reformadas até 2014 (BRASIL, 2012).

Segundo a Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos (ANP Trilhos, 2012), esse montante é insuficiente para as necessidades de ampliação do transporte ferroviário, tanto de cargas, como de passageiros.

A Figura 3 destaca alguns dos potenciais projetos a serem beneficiados por tais investimentos, além dos já concluídos. Como pode ser observado, os projetos em fase de estudo são bastante ambiciosos e reforçam, portanto, a necessidade de maiores investimentos em tecnologia e infraestrutura, sobretudo quanto aos Trens de Alta Velocidade.

Em agosto de 2012 foi lançado pelo Governo Federal o Programa de Investimentos em Logística, que prevê o investimento de mais R\$ 91 bilhões na construção e reconstrução de 10 mil km de ferrovias ao longo dos próximos 25 anos (sendo R\$ 56 bilhões investidos até 2017). Esse programa objetiva dar continuidade à estratégia adotada inicialmente pelo PAC, em que as linhas férreas poderão ser compartilhadas por várias empresas para o transporte de cargas (através de ofertas públicas de capacidade), o que pode acarretar, em longo prazo, solicitações bem

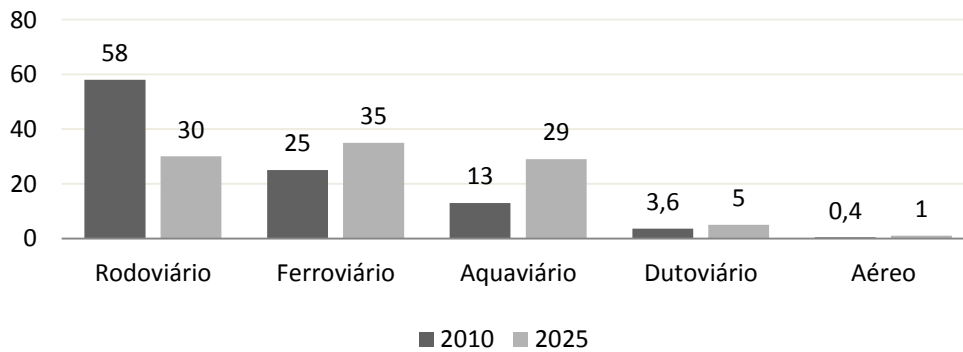




**Figura 4** – Novos projetos previstos pelo Programa de Investimentos em Logística  
 Fonte: BRASIL (2012)

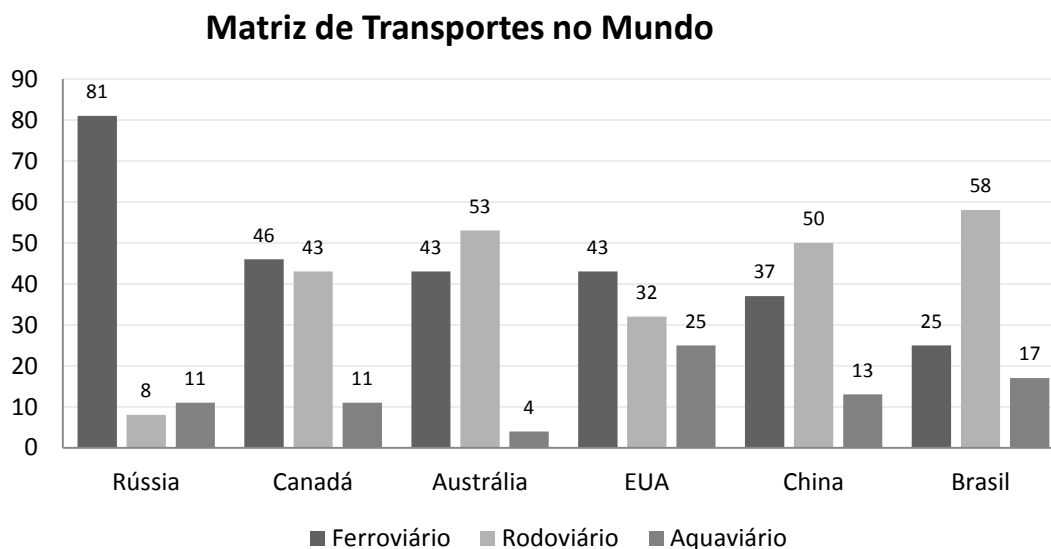
A figura 5 apresenta a distribuição da matriz de transportes brasileira no ano de 2010 e a planejada para 2025, o que evidencia, entre outros, a intenção de que o sistema ferroviário supere, em quilometragem, o sistema rodoviário em pouco tempo tornando-se, inclusive, o principal modal do país.

**Matriz de transportes atual e planejada no Brasil (%)**



**Figura 5**– Matriz de transportes atual e planejada no Brasil (em %)  
 Fonte: Adaptado de ABIFER (2010)

Na Figura 6 é feita uma comparação entre a matriz de transporte dos dois modais em alguns países, destacando-se a Rússia, com 81% de sua matriz de transportes representada por ferrovias (principalmente as destinadas ao transporte de passageiros) e a China que, atualmente, já possui proporção maior que a planejada no Brasil para 2025.



**Figura 6**– Matriz de transportes no Mundo (em %)  
 Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2011)

De acordo com a ANTF (2011), as concessionárias ferroviárias, em cumprimento às suas responsabilidades, têm alocado recursos para aumentar a produção da infraestrutura concedida adotando, como primeiro critério, a melhoria da condição operacional da via permanente dessas malhas. A ascensão desse investimento evidenciada na Tabela 1 confirma tal prioridade. Os investimentos no ano de 2010 e até meados de 2011 superam significativamente os de anos anteriores.

Atualmente, em função da crescente relevância dada à gestão de projetos construtivos, bem como o aumento da sua abrangência, o estudo da viabilidade de novos empreendimentos e reformas deve considerar os aspectos ambientais desde a fase de concepção até a de uso e manutenção e, quando possível, a fase de descarte e demolição, conforme verificado, por exemplo, em estudos relacionados

ao uso dos resíduos da construção civil e da indústria na fabricação de novos componentes construtivos.

**Tabela 1-** Principais investimentos das Concessionárias em milhões (R\$).(\*até julho de 2011)  
Fonte: ANTT (2011)

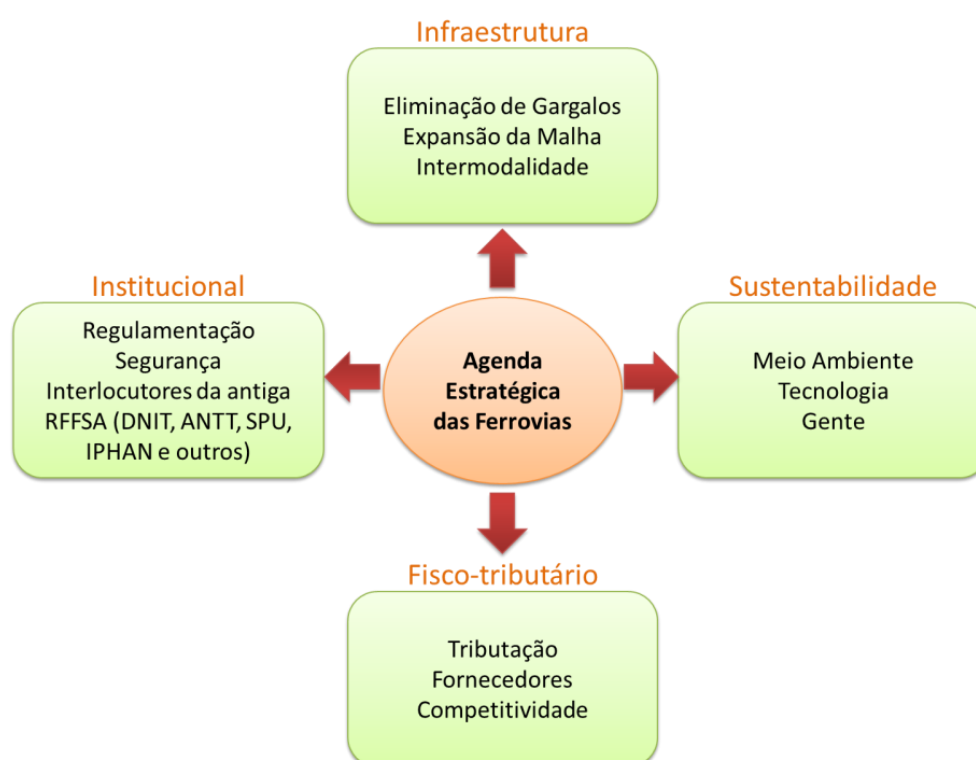
<b>Discriminação</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011*</b>
Material Rodante	2012,40	1039,70	1075,50	2034,10	829,20	765,70	400,62
Infraestrutura	185,20	362,30	347,00	525,40	426,10	1024,20	630,66
Superestrutura	679,30	674,40	756,80	992,80	999,00	1819,70	747,55
Telecomunicações	17,90	16,60	8,10	6,90	10,20	11,10	7,27
Sinalização	38,60	57,40	81,50	89,30	115,60	75,00	26,71
Oficinas	53,90	60,40	64,70	186,40	75,80	74,10	25,14
Capacitação de Pessoal	2,60	14,90	18,30	21,10	18,00	26,50	10,62
Veículos Rodoviários	9,80	2,70	0,90	4,40	0,90	4,40	0,52
Outros Investimentos	192,20	230,40	338,80	336,40	294,80	523,70	323,17
<b>Total</b>	<b>3192,00</b>	<b>2458,80</b>	<b>2691,70</b>	<b>4196,90</b>	<b>2769,60</b>	<b>4324,40</b>	<b>2172,26</b>

Dentro deste contexto, menciona-se que os desafios para o desenvolvimento do setor ferroviário dependem de 12 fatores apresentados na Agenda Estratégica para o Setor de Transporte Ferroviário de Cargas (ANTF, 2011), conforme ilustrado na Figura 7.

A agenda, além de apresentar os desafios, propõe soluções práticas quanto à eliminação de gargalos e intermodalidade em infraestrutura; sustentabilidade quanto ao meio ambiente, tecnologia e pessoas; sustentabilidade institucional voltada à regulamentação, reestruturação e segurança; e sustentabilidade fisco-tributária quanto à tributação e fornecedores. Sendo assim, um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento ferroviário refere-se à sustentabilidade em tecnologias. Vale ressaltar que, dentre as ações propostas, defende-se o aprimoramento de parcerias do setor com as instituições acadêmicas de pesquisa, como forma de viabilizar o desenvolvimento de novos materiais e técnicas.

Com o objetivo de aperfeiçoar o sistema ferroviário brasileiro, o SIMEFRE, como entidade mantenedora do Comitê de Normas Metro-Ferrovárias, o CB-06 da ABNT, através de suas Comissões de Estudos, vem desenvolvendo, juntamente,

com empresas associadas, operadoras ferroviárias e técnicos envolvidos com o setor, estudos e revisões das normas, que visam a aplicação de novos materiais e tecnologias e o apoio a realização de encontros técnicos entre operadores e fabricantes (ANTF, 2011).



**Figura 7-** Agenda Estratégica para o Setor de Transporte Ferroviário de Cargas  
Fonte: Adaptado de ANTF (2011)

Desde o surgimento da ferrovia, devido a suas características físicas e comportamento mecânico, a madeira é o material que melhor atende as funções do dormente, principalmente ao facilitar a configuração geométrica da linha e transferir as cargas exercidas pelo material rodante.

Devido a crescente escassez da madeira de lei, muitos estudos vêm sendo realizados com a finalidade de desenvolver materiais e tecnologias para conservá-la ou substituí-la. As primeiras iniciativas ocorreram através do desenvolvimento de preservantes para a madeira, que foram posteriormente contestados por conta do grande potencial de poluição do solo (FARIA, 2006).



A utilização de dormentes de madeira no Brasil colabora com os elevados índices de desmatamento predatório e ilegal (cerca de 80% do total de madeira empregada no setor). Também vale ressaltar que, devido à falta de interesse econômico por parte dos fabricantes a essa destinação, a baixa qualidade dos tipos de madeira utilizados em dormentes atualmente reflete em uma vida útil inferior a cinco anos, bem como a impossibilidade de reciclagem devido à baixa isolamento térmica em estado úmido e sua incombustibilidade (MARZOLA, 2004).

Muitas empresas do ramo ferroviário estão investindo no cultivo de eucaliptos que se apresentam como uma alternativa ecológica e eficaz para a obtenção de dormentes de madeira, pois crescem rapidamente e possuem alta densidade (ALL, 2012). No entanto, a durabilidade do eucalipto pode ser até 50% inferior a da madeira de lei (variando em torno de cinco anos), em virtude da sua maior susceptibilidade ao ataque de microrganismos, especialmente onde as chuvas são mais constantes e a geometria do traçado é mais desfavorável (RUSSO, 2012).

Por razões econômicas e principalmente ambientais, a maioria dos estudos recentes voltados a soluções para dormentes está concentrada em materiais alternativos à madeira. Apesar do forte potencial siderúrgico do Brasil, o dormente metálico ainda é pouco utilizado, principalmente, devido ao condicionamento do seu custo às oscilações do valor do aço no mercado (FARIA, 2006). Outro inconveniente é o fato deste não ser um isolante natural, comprometendo a segurança de tráfego. Em contrapartida, os dormentes de aço podem ser reciclados e possuem vida útil elevada, em torno de 60 anos (MARZOLA, 2004).

O dormente metálico é relativamente leve (70 Kg) e é fácil de ser assentado. Pelo mesmo motivo, essa leveza condena-o para linhas de tráfego pesado. A fixação dos trilhos também é dificultada e, conseqüentemente, os serviços de manutenção são permanentes (CPTM, 2010).

Os dormentes de plástico (ou madeira plástica) apresentam-se como a alternativa mais recente e sustentável, tendo 85% da sua matéria-prima composta por restos de embalagens plásticas. Esses dormentes também contribuem para a segurança nas vias por serem pouco suscetíveis ao desprendimento das placas de fixação (FARIA, 2006), além de possuírem resistência lateral 150% superior aos de

madeira (MARZOLA, 2004). Há estudos sobre o emprego da borracha de pneus em dormentes sendo mais centralizados em cruzamentos rodoferroviários com resultados satisfatórios, principalmente, no que se refere à durabilidade, a exemplo do verificado em FREITAS (2010).

DAVID *et al* (2006) projetaram um dormente ferroviário confeccionado através de um conjunto constituído exclusivamente por tiras de pneu e um adesivo especial, apoiado por uma chapa de aço e posteriormente vulcanizado. Ao serem testados os aspectos físicos, trabalhabilidade, resistência à tração e compressão, identificou-se um grande potencial para o aproveitamento de pneus, embora ainda não suficientemente explorado.

Os dormentes de concreto tradicionais possuem preços mais elevados que os de madeira, por outro lado, apresentam vida útil de 3 a 4 vezes superior (FARIA, 2006). No entanto, seu uso é controverso devido a sua excessiva rigidez e menor resistência a impactos. Os primeiros dormentes de concreto fabricados reproduziam as formas dos de madeira, através de um bloco de seção constante, permitindo que os choques e vibrações oriundos das cargas dinâmicas causassem trincas e fissuras, culminando nas primeiras experiências negativas (CPTM, 2010).

O dormente de concreto é um produto consagrado na Europa (sobretudo na Bélgica, França e Alemanha), no Japão e em alguns países da África, correspondendo a aproximadamente 40% da demanda desses países. Nos EUA, Canadá, Austrália e América do Sul, são bem menos utilizados, com participação na ordem de 10% (MARZOLA, 2004).

Entre suas vantagens citam-se: maior estabilidade da via; economia de lastro; pouca sensibilidade a agentes atmosféricos; maior resistência lateral e vertical devido à maior massa do concreto; geometria mais uniforme da via, resultando em rolamento mais suave, seguro e maior conforto para os passageiros; maior vida útil do dormente; menor espaçamento longitudinal, exigindo um menor número de unidades por quilômetro; garantia da homogeneidade e qualidade do produto final; versatilidade no emprego dos mais diversos sistemas de fixação dos trilhos (DORBRÁS, 2011; CPTM, 2010).

Como desvantagens Venuti (1980) *apud* Bastos (1999) e Marzola (2004) citam: o maior custo de transporte quando comparado com a madeira, devido ao maior peso; o fato de não suportar descarrilamento, sendo destruído facilmente e em grande quantidade (mas podendo, por outro lado, ser inteiramente reciclado).

O Quadro 1 resume as características mais importantes dos tipos de dormentes mais empregados atualmente no Brasil.

É importante observar que, mais recentemente, inúmeros estudos (mencionados com maior detalhe no Capítulo 3) voltados ao desenvolvimento de concretos ecológicos vêm sendo realizados. A engenharia de produtos, de uma forma geral, nos últimos anos, destina-se também ao aprimoramento das áreas de *Ecodesign* e Inovação Sustentável.

Observando esse contexto, faz-se necessário projetar produtos que solucionem problemas específicos, como a rigidez de dormentes de concreto, paralelamente objetivando o reuso e a reciclagem de materiais, bem como a minimização de impactos ambientais durante sua vida útil.

## 1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista os recentes progressos no uso de resíduos variados na otimização das propriedades físicas e mecânicas do concreto, o presente trabalho tem por objetivo geral analisar a viabilidade técnica, econômica e comercial do emprego de materiais alternativos em uma mistura de concreto que pode vir a ser utilizada na fabricação de dormentes como forma a reduzir os impactos ambientais já mencionados, mantendo a durabilidade e o desempenho necessários.

**Quadro 1** – Resumo das características de cada tipo de dormente  
 Fonte: adaptado de RUSSO (2012)

Características	Tipo de dormente				
	Madeira (Eucalipto)	Plástico	Concreto Monobloco	Concreto Bibloco	Aço
Peso (kg)	120-140	120-130	350-400	180-200	70-80
Vida útil (anos)	5-20	25-30 (estimado)	Acima de 50 (estimado)	Acima de 50 (estimado)	Acima de 50 (estimado)
Resistência ao ataque de microrganismos	Sim (se tratado)	Sim	Sim	Sim	Sim
Ruído com o tráfego	Não	Não	Não	Não	Sim
Isolamento elétrico	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Recomendações de Uso (baseadas no desempenho)	Vias com alta carga por eixo de vagão e que atravessam áreas urbanas	Ainda em fase de testes, mas com expectativa de vida útil bastante superior.	Indicado para vias com maiores velocidades operacionais e cargas por eixo acima de 35 tf.	Indicado em vias muito sinuosas, com raios de curva inferiores a 500 m e com velocidades operacionais mais elevadas.	Não recomendável em vias que transportem altas cargas por eixo.
Situação Atual do Mercado Nacional	Reduzida oferta de material, tende a ser gradativamente substituído por outros tipos de dormentes.	Fornecedores insuficientes para atendimento da demanda crescente. Necessita ainda que normatização seja estabelecida no país.	Material largamente empregado. O aumento da produtividade em larga escala tende a reduzir seu custo inicial. Permite instalação totalmente mecanizada.	No Brasil, ainda não possui grande aplicação em vias de transporte de carga (é preterido em relação ao monobloco), porém, sua instalação em vias com curvas de raio pequeno deve ser considerada.	Alto custo de produção inibe a sua aplicação em maior escala.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Avaliação das propriedades mecânicas da mistura de concreto proposta, observando os fatores ambientais, sociais e econômicos que integram o conceito de desenvolvimento sustentável para a fabricação de dormentes ecológicos que atendam e até mesmo superem as solicitações de carga projetadas e as normas específicas vigentes, além de outros tipos de aplicações
- Proposição de uma estrutura de planejamento tecnológico voltado ao desenvolvimento de produtos ecológicos com base em metodologias e ferramentas da gestão consagradas na literatura
- Execução do planejamento tecnológico da mistura para a finalidade sugerida de forma a investigar as possibilidades de inserção do ECODOR no mercado e identificar potenciais consumidores e parceiros.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido nas seguintes partes:

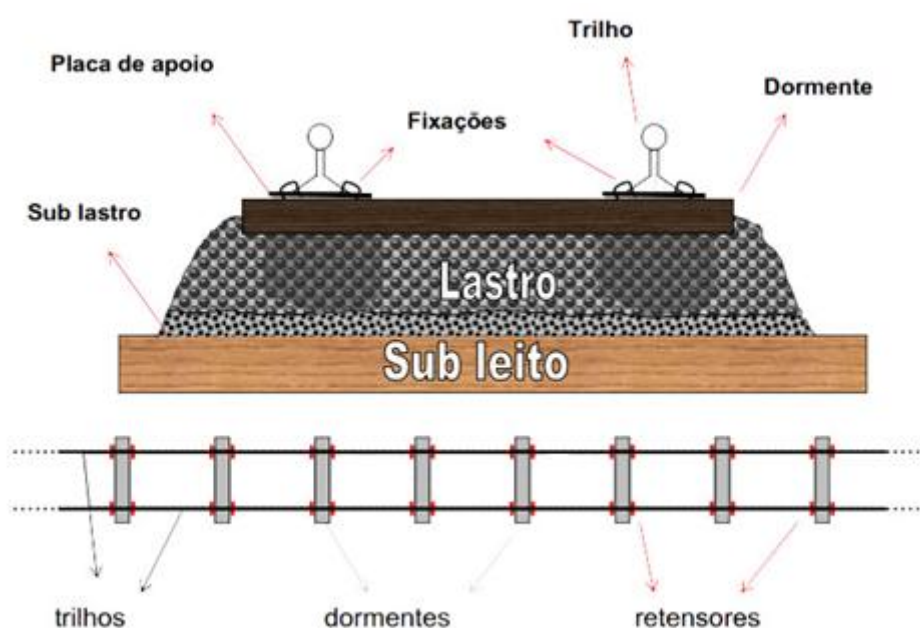
- Capítulo 1 – Introdução: apresentação de um panorama do setor ferroviário atual e da importância da consideração de aspectos ambientais em projetos de construção e reformas de vias permanentes; objetivos e estrutura
- Capítulo 2 – Dormentes de concreto na linha férrea: funções e tipos de dormentes, principais requisitos normativos e revisão sobre o emprego desses dormentes no Brasil
- Capítulo 3 – Concreto ecológico: cenário atual da produção e da reciclagem de resíduos na construção civil, revisão bibliográfica sobre o emprego de agregados reciclados e fibras em concretos
- Capítulo 4 – Materiais e métodos: apresentação e caracterização dos materiais, detalhamento dos ensaios de caracterização mecânica realizados, apresentação e análise dos resultados obtidos

- Capítulo 5 – Planejamento tecnológico: revisão teórica, planejamento tecnológico do ECODOR
- Capítulo 6 – Conclusões e recomendações.

## 2. DORMENTES DE CONCRETO NA LINHA FÉRREA

### 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A superestrutura de uma via permanente é composta pelos trilhos (componentes longitudinais) fixados aos dormentes (componentes transversais), através das fixações, apoiados sobre um meio elástico representado na maioria dos casos pelo lastro, sublastro e plataforma da via (ou subleito), conforme visto na Figura 8.



**Figura 8** – Elementos de uma via permanente tradicional  
Fonte: Porto (2004)

Uma via permanente é frequentemente submetida às solicitações laterais (resultantes dos esforços de guiamento e resistência lateral da via), verticais (dependem das condições de suporte da via) e longitudinais (tensões térmicas nos trilhos soldados e esforços de aceleração e frenagem, por exemplo).

Sendo assim, cada dormente é responsável por receber as cargas advindas dos trilhos e das fixações, absorver parte delas e transmitir a maior parte para as camadas inferiores. Suas propriedades afetam e são afetadas pelas propriedades dos demais componentes, além da geometria da via e do tráfego (ABNT, 2010).

De acordo com BASTOS (1999), o *dormente* é um dos elementos fundamentais da superestrutura das vias ferroviárias. Entre suas principais funções destacam-se: suportar os trilhos, manter o eixo da via e transmitir ao lastro as ações dos eixos dos veículos. Portanto, faz-se necessário dotá-lo de uma elevada resistência, o que no caso do concreto poderá ocasionar uma grande rigidez. Para cumprir essas funções é necessário que (CPTM, 2010):

- Suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse certo limite;
- Sua espessura lhe dê a necessária rigidez permitindo, entretanto, alguma elasticidade;
- Tenha suficiente resistência aos esforços;
- Tenha durabilidade;
- Permita, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro (socaria), na sua base;
- Se oponha eficazmente aos deslocamentos longitudinais e transversais da via;
- Permita uma boa fixação do trilho, firme, sem ser excessivamente rígida.

A grade ferroviária apoiada nas camadas de lastro, sublastro e plataforma, ou qualquer outro meio elástico, se comporta como uma viga contínua sobre apoio elástico. Por conta disto, a carga aplicada na via através do material rodante é distribuída, por meio dos trilhos, para vários dormentes consecutivos. A forma como ocorre a distribuição dos esforços depende principalmente da distância entre os dormentes e entre os eixos do material rodante, da rigidez do trilho e do comportamento do lastro e do sublastro.

## 2.2 DORMENTES DE CONCRETO TRADICIONAIS

Os dormentes de concreto são classificados em função da sua forma e características externas. Quanto à forma, os principais dormentes fabricados atualmente são (BASTOS, 1999):



- Monobloco (ou de Concreto Protendido): constituído por uma peça rígida e contínua de uma extremidade a outra (conforme a Figura 9). São submetidos a grandes momentos fletores que aparecem em diferentes seções do dormente. São exclusivamente protendidos para resistir à distribuição desses momentos provenientes das ações dinâmicas e também normalmente pré-tensionados, embora alguns modelos pós-tensionados sejam também produzidos.

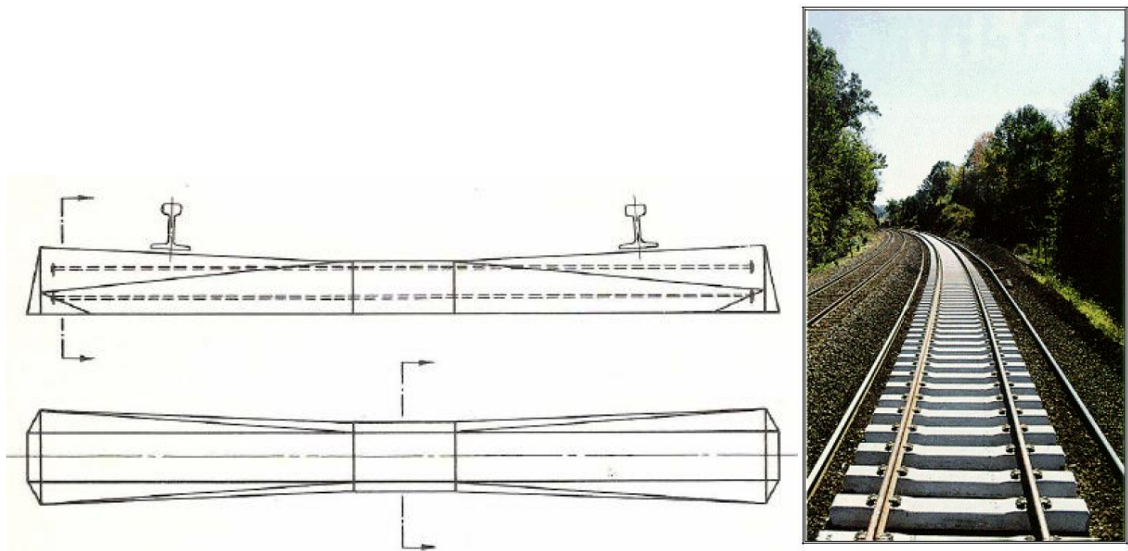


Figura 9 – Dormente Monobloco  
Fonte: BASTOS (1999) e BRINA (1979)

- Bibloco (ou Dormentes Mistos): são compostos por dois blocos rígidos de concreto armado sob cada trilho e unidos por uma barra flexível de aço (conforme Figura 10). Graças à elasticidade da viga, os dois blocos de concreto estão imunes à maioria dos esforços de flexão estática e flexão alternadas, aos quais os dormentes de concreto protendido dificilmente resistem. Dessa forma, pode-se dar a linha duas qualidades aparentemente contraditórias, a resistência e a elasticidade (CPTM, 2010).

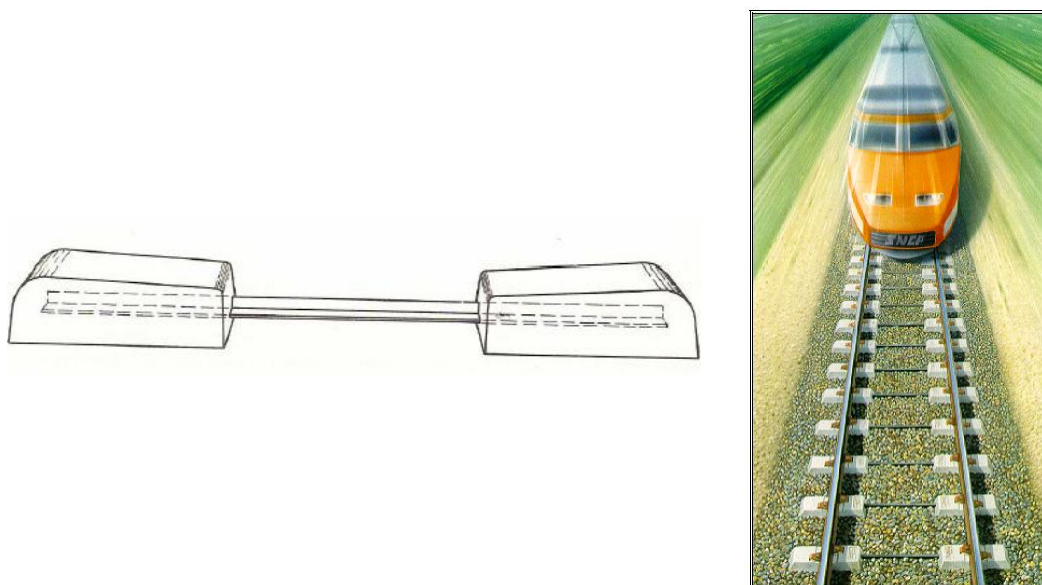


Figura 10 – Dormente Bibloco  
Fonte: BASTOS (1999) e BRINA (1979)

- Dormente Polibloco: constituído por dois blocos de concreto armado nas extremidades e uma peça intermediária, também de concreto, unidos por fios de aço, com elevado limite elástico, tendido e ancorado nas extremidades (CPTM, 2010). No Brasil, esse tipo de dormente não é utilizado, não sendo, inclusive, mencionado na norma prescritiva vigente.

A resistência à compressão do concreto destinado à fabricação de dormentes biblocos não deve ser inferior a 40 MPa enquanto que para dormentes monobloco esse valor é de 45 MPa, valores obtidos através do ensaio prescrito na ABNT NBR 8953 (2009). O preparo e o controle do concreto estão estabelecidos na ABNT NBR 12654 (1992) e na ABNT NBR 12655 (2006).

Destaca-se o consumo mínimo de cimento na ordem  $350 \text{ Kg/ m}^3$  de concreto, a relação água/cimento igual ou superior a 0,38 (NBR 11709, 2010), sendo permitido o uso de adições minerais pozolânicas em substituição parcial do cimento (até 20% do peso total do mesmo) e agregados que atendam aos requisitos da

ABNT NBR 7211 (2009), além de não serem reativos com álcalis de cimento e isentos de substâncias deletérias.

Quanto à água de amassamento, a mesma deve atender aos requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR NM 137 (1998). Finalmente, o uso de aditivos apenas é permitido mediante a comprovação de que seu uso não possui contra indicações e que estes não contêm cloretos ou outros halogenetos em sua composição.

A ABNT NBR 11709 (2010) não especifica requisitos para o aço, apenas recomenda que o mesmo seja armazenado apropriadamente, protegido contra a corrosão e corretamente identificado, além de isento de quaisquer substâncias que possam vir a prejudicar a aderência com o concreto. Requisitos específicos de fios e cordoalhas de protensão, barras para armadura passiva e vigas de interligação são estabelecidos nas normas ABNT NBR 7482 (2008), ABNT NBR 7483 (2008), ABNT NBR 7480 (2007) e ABNT NBR 7007 (2011).

Apresenta-se como fator primordial para a boa eficiência de um dormente de concreto a forma de fixação do trilho no mesmo. Esta não pode ser rígida, de forma a não destruir o concreto em seus pontos de contato. Nos tipos mais modernos de fixação utiliza-se uma placa, fixada ao dormente por meio de parafusos ou *tirefonds*. A fixação do trilho na placa é feita por meio de castanha e porca, interpondo-se entre os dois uma arruela. Nas ferrovias britânicas, é utilizada a fixação *Pandrol*, do tipo elástica, com resultados satisfatórios (CPTM, 2010), ilustrada na Figura 11.



Figura 11 – Fixação *Pandrol*  
Fonte: Railway-Technology.com

De acordo com a AREMA (2009), o projeto de um dormente deve considerar um conjunto de fatores de forma a obter um produto final que combine as características necessárias ao seu bom desempenho, destacando-se: características do trilho, fixações, lastro, sublastro e plataforma; qualidade, método de fabricação, instalação e manutenção de cada componente; direção, magnitude e frequência do tráfego; velocidade do tráfego; perfil e inclinação dos trilhos; tipo de fixação dos trilhos; características da plataforma e do traçado; efeito do clima e do meio ambiente; aspectos econômicos de instalação e manutenção.

Discussões recentes levantam a preocupação da falta de um método de avaliação realista de dormentes de concreto pré-reforçados. Por conta da escassez de estudos relacionados no passado, engenheiros ferroviários têm-se utilizado de métodos conservadores no projeto estrutural de componentes ferroviários, baseados nas tensões admissíveis e nas reduções de resistência do material. Mas, com base em experiências comprovadas e análises de campo, acredita-se que esses dormentes, apesar de corresponderem às tensões estipuladas, possuam tenacidade a fratura indevidamente exploradas. Essas descobertas vêm conduzindo as pesquisas a um novo conceito de projeto (KAEWUNRUEN, REMENNIKOV e MURRAY, 2011).

Os métodos de projeto atuais, inclusive o brasileiro, determinam que qualquer rachadura encontrada nos dormentes devido a forças irregulares deva ser removida, sem qualquer classificação retentiva, resultando em manutenções excessivas. Também por esse motivo, faz-se necessário um novo conceito de projetos para esses produtos, permitindo-se rachaduras controláveis, de modo que a capacidade real das vias possa ser efetivamente explorada.

Para desenvolver esses limites, foram e estão sendo realizados estudos sobre as respostas dos dormentes aos impactos de alta magnitude, porém de curta duração, em países como a Inglaterra, Canadá, Japão, Suécia e Austrália (KAEWUNRUEN, REMENNIKOV e MURRAY, 2011).

De acordo com Russo (2012), percebe-se, ao se trabalhar com projetos ferroviários, que existe uma enorme dificuldade na obtenção de informações técnicas referentes aos elementos de vias permanentes. Diante deste fato, muitas

decisões sobre o emprego de materiais para diferentes finalidades acabam sendo tomadas com base em critérios empíricos ou em experiências anteriores vivenciadas pelos profissionais envolvidos, visto que não se consegue proceder a uma análise técnica e comparativa dos diferentes tipos de elementos existentes.

O concreto destinado à fabricação de dormentes pode ser preparado em uma central de concreto própria ou adquirido através de uma usina externa. O traço deve ser obtido por meio de qualquer método baseado na correlação resistência/durabilidade e água/cimento. O processo de cura é o mesmo executado em concretos tradicionais estabelecido na ABNT NBR 9062 (2006).

Segundo BASTOS (1999), o dormente de concreto, por se tratar de um produto de forte interesse comercial, possui informações sobre seu processo de fabricação muito restritas. Dessa maneira, evidencia-se a grande dificuldade em se projetar esses dormentes em acordo com as condições das ferrovias brasileiras, muito por conta da falta de divulgação das experiências já obtidas.

### 2.3 O EMPREGO DE DORMENTES DE CONCRETO NO BRASIL

O uso de dormentes de concreto em ferrovias destinadas ao transporte de cargas durante muito tempo foi controverso no Brasil. O debate girava em torno de contestações quanto à resistência e durabilidade desses materiais quando expostos ao clima típico do país e, não menos importante, às questões ambientais relacionadas à produção do concreto e emissão de gases provenientes da fabricação do cimento. No entanto, grandes empreendimentos ferroviários brasileiros e internacionais vêm preferindo esses dormentes em substituição aos de madeira.

Crawford (2009) calculou a emissão de CO<sub>2</sub> na produção de dormentes de madeira e de concreto armado desde a fase de fabricação até a de descarte, além da resultante do transporte e da instalação. A pesquisa também considerou os gases provenientes da decomposição da madeira após sua substituição. Concluiu-se que, em um ciclo de 100 anos, as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao dormente de concreto eram de duas a seis vezes menores do que as evidenciadas em dormentes de madeira.

De acordo com Relatório de Balanço Anual de Transportes do PAC 2 (BRASIL, 2012), as ações mais significativas relacionadas ao setor ferroviário, em estágio de projeto avançado ou execução, são a construção da Ferrovia Norte-Sul – Trecho Sul (Palmas/ TO – Anápolis/ GO), da Ferrovia Norte-Sul – Trecho Sul (Anápolis/ GO – Estrela d’Oeste – SP), da Ferrovia Nova Transnordestina, a extensão da Ferronorte, do Trem de Alta Velocidade e da Ferrovia de Integração Oeste – Leste.

O projeto da Ferrovia Norte-Sul prevê a construção de 1536 km de ferrovia interligando a cidade de Palmas/ TO a Estrela D’Oeste/SP, contemplando os estados de Tocantins, Goiás, Minas Gerais e São Paulo. Executados pela companhia VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., o trecho entre Palmas/TO e Anápolis/GO (855 km) tinha previsão de conclusão em julho de 2012 (mas por conta de problemas técnicos e políticos, as obras encontram-se paralisadas) e o trecho entre Anápolis/GO e Estrela d’Oeste/SP (681 km), em junho de 2014. A figura 12 apresenta um mapa com o status das obras até janeiro de 2012 (BRASIL, 2012).

Nos trechos já concluídos, a carga principal a que se destinam é composta pela soja e pelo minério de ferro, o segundo em menor proporção. No total, o projeto da obra prevê o assentamento de 3 milhões de dormentes (BRITO, 2008), em sua quase totalidade de concreto. Para atender a essa intensa demanda, diversos fabricantes vêm sendo instalados na região desde o início da obra, com capacidade de produção média de 1200 unidades/dia, atendendo a uma das exigências presentes no edital de licitação de que os mesmos deveriam possuir experiência comprovada na fabricação e instalação desses tipos de dormentes (CÁCIO JUNIOR, 2011).

A ferrovia Nova Transnordestina, concedida à Transnordestina Logística S.A. (TLSA), terá a extensão de 1728 km ao término de sua construção, previsto para dezembro de 2014 e beneficiará principalmente os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí (BRASIL, 2012). Seu canteiro industrial conta com a maior fábrica de dormentes de concreto do mundo em bitola larga, localizada na cidade de Salgueiro/ PE, com capacidade produtiva de 4,8 mil peças (ou 3 km) por dia

(BRASIL, 2010). Do total de 3 milhões de dormentes que serão utilizados na ferrovia, os de madeira apenas serão empregados em pequenos trechos, caso haja a necessidade, e também na manutenção da malha atual, conforme nota divulgada pela Companhia Siderúrgica Nacional (FALCÃO, 2011), em resposta a denúncias sobre o uso de madeira ilegal destinada a construção da ferrovia.



**Figura 12** – Status das obras da Ferrovia Norte-Sul – Trecho Sul  
Fonte: BRASIL (2012)

A extensão da Ferronorte, outra ferrovia em projeto no Brasil, contemplará a construção de 260 km de ferrovia que interligará a cidade de Alto Araguaia / MT a Rondonópolis / MT, com data de conclusão prevista para dezembro de 2012 e administrada pela América Latina Logística (BRASIL, 2012). Na cidade de Alto Araguaia / MT foi instalada uma fábrica de dormentes de concreto com capacidade de 600 dormentes/dia (ANTF, 2010).

O Trem de Alta Velocidade (TAV) pretende ligar as cidades de Campinas, São Paulo e Rio de Janeiro com a extensão de 511 km ao fim de sua construção. Será destinado ao transporte de passageiros e, além de integrar as três cidades, também desempenhará o importante papel de ligar os dois mais importantes aeroportos internacionais do país, Guarulhos e Galeão, além de Viracopos. Segundo



a ABIFER (2011), estudos para a viabilização de outros TAVs a serem construídos no país já se encontram em estágio avançado, a exemplo dos que ligarão São Paulo a Curitiba, Campinas a Uberlândia e Campinas a Belo Horizonte. No total, planeja-se construir 3100 km desse tipo de ferrovia a curto e médio prazo. A Figura 13 apresenta o traçado projetado, bem como sua configuração.

Ainda não foi especificada a tecnologia que será utilizada nesse projeto, podendo-se optar pelas linhas férreas tradicionais (com trilhos e dormentes) ou trens de levitação magnética (*MagLev*), mais onerosos. Mas, levando-se em consideração as preocupações relacionadas à oferta de cimento para a realização da obra, existe a maior possibilidade de que os dormentes sejam de concreto.

Em seu Apêndice A, o Edital de Concessão nº 001 (ANTT, 2010) apresenta algumas características a serem consideradas na escolha dos dormentes, onde se destaca:

Dormentes de concreto do tipo monobloco ou bi-bloco deverão ser empregados, conforme necessário ou, ainda, um suporte de via alternativo cujo desempenho deve ser equivalente e possa ser demonstrado, respeitadas as características de tráfego do sistema TAV e das toneladas brutas anuais previstas ao longo da vida útil dos componentes das vias (ANTT, 2010).



**Figura 13** – Traçado do Trem de Alta Velocidade (Campinas-São Paulo-Rio de Janeiro)  
Fonte: Lemos (2010)



A respeito dos requisitos relacionados à vida útil dos dormentes, o mesmo edital determina:

Dormentes em concreto protendido normalmente apresentam vida-útil mínima de 40 anos, quando dispostos em infraestrutura de via bem projetada e mantida. No entanto, diante da possibilidade de haver exceções, a Proponente deve considerar a necessidade de reposição durante o período da Concessão.

A Ferrovia de Integração Oeste - Leste conta em seu projeto com a construção de 1022 km de ferrovia ligando o Porto de Ilhéus/BA a Barreiras/BA. A previsão de conclusão do trecho Ilhéus/BA – Caetité/BA é de junho de 2014 e do trecho Caetité/BA - Barreiras/BA de dezembro de 2015 (BRASIL, 2012).

De acordo com o Plano Básico Ambiental – Estratégia e Projeto de Engenharia desenvolvido pela construtora VALEC (2010), os trens projetados para essa ferrovia exigem vias mais modernas e resistentes que as tradicionais, além de grande eficiência energética e, conseqüentemente, alta produtividade e baixo custo operacional. Por este motivo, especifica-se o uso de dormentes de concreto monobloco e protendido. Segundo o mesmo edital, serão necessários na construção dos 11 lotes planejados, 2848951 dormentes.

A companhia Vale do Rio Doce, em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), vem desenvolvendo estudos e testes em dormentes com materiais alternativos. Especificamente no caso dos de concreto, apresentam como objetivos e vantagens para a sua inclusão definitiva na Estrada de Ferro Carajás (EFC), a maior estabilidade e vida útil da linha, a capacitação para futuros aumentos de carga por eixo e a compatibilidade com ferrovias HH (*heavy haul*) (ANTF, 2009).

Desde 2001, mais de 8000 dormentes de concreto foram instalados na EFC, além de um aparelho de mudança de via. Até o presente ano, estima-se o emprego de quase 1,5 milhão de unidades nos projetos de expansão da mesma ferrovia. Já na Estrada de Ferro Vitória a Minas, desde 2009 estudos de campo vêm sendo realizados com os dormentes aprovados em ensaios laboratoriais (ANTF, 2009).

É possível verificar que, igualmente importante às questões ambientais e econômicas inerentes ao uso de dormentes de concreto em relação aos de madeira,

especificamente no caso brasileiro, o curto prazo para execução das obras supracitadas configura um ponto importante considerado na escolha desse tipo de tecnologia. Ainda que uma política consistente de reflorestamento para a obtenção de madeiras próprias a dormentes fosse adotada, a capacidade de produção desses produtos não seria capaz de atender à demanda emergente.

### **3. CONCRETOS SUSTENTÁVEIS**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Segundo John (2000), a contraposição entre o meio ambiente e o desenvolvimento faz com que a defesa do primeiro seja vista como antidesenvolvimentista. De acordo com Liddle (1994) e Hill e Bowen (1997) *apud* John (2000): “a partir da percepção dos efeitos das alterações do meio ambiente sobre o homem (e a natureza em geral) desenvolve-se o paradigma ecológico ou preservacionista”. A consolidação desse paradigma resultou em uma crescente regulamentação ambiental concentrada no desenvolvimento de técnicas de deposição e remediação de locais e cursos d’água contaminados sem questionar fundamentalmente a produção linear.

No entanto, o aquecimento da economia mundial aliado ao crescimento da população e aos avanços da compreensão científica sobre o funcionamento do planeta evidencia a não sustentabilidade do modelo linear de produção e do paradigma ecológico.

Quando analisado exclusivamente o setor da construção civil, dois problemas corroboram fortemente com o desenvolvimento insustentável: o consumo de matérias-primas não renováveis e a geração de resíduos. O setor é responsável por 15% a 50% do consumo de recursos naturais extraídos no mundo. Especificamente quanto ao consumo de agregados naturais, esse consumo varia entre 1 e 8 toneladas/ano.habitante. No Brasil, o uso desses agregados na produção de concretos e argamassas varia em torno de 220 milhões de toneladas por ano (JOHN, 2000).

É importante ressaltar que o alto desperdício verificado nos processos construtivos, de uma forma geral, também contribui com o elevado consumo. Segundo Pinto (1999), para a construção empresarial a intensidade da perda se situa entre 20 e 30% da massa total de materiais, variando com o patamar tecnológico do construtor.

Quanto à produção de resíduos, o volume de entulho da construção e demolição gerado pode ser até duas vezes maior do que o volume de lixo sólido urbano de um país. No Brasil, essa proporção é de 60%, sendo que 70% deles podem ser reaproveitados (VIER, 2011). Esses valores, no entanto, podem ser ainda maiores se considerada a deficiência na classificação e separação desses materiais, bem como a quantificação dos resíduos oriundos de tipologias de construção diferentes.

Ainda é pertinente destacar outro inconveniente causado pela grande produção de resíduos da construção e demolição sem políticas de reaproveitamento: o impacto dos mesmos nos ambientes urbanos. Como exemplos desses impactos pode-se relacionar os prejuízos ao tráfego de veículos e pedestres, contaminação de solos e cursos d'água, proliferação de vetores prejudiciais às condições de saneamento e saúde humana, e, sobretudo no Brasil, prejuízos à drenagem, resultando em enchentes cada vez mais catastróficas.

O Japão, mais de um ano depois do tsunami que veio a devastar todo o leste do país, apenas conseguiu processar 5% dos destroços do desastre. Dentre os motivos para tal lentidão estão o grande volume de entulhos, obviamente (equivalente a 5 anos de coleta de lixo na cidade de São Paulo), a recusa de cidades vizinhas em ceder espaço para a deposição do material por conta de seu alto potencial radioativo, e, principalmente, pela priorização de alternativas de reciclagem e reutilização dos destroços em detrimento a incinerações e aterramentos na reconstrução das cidades (VELOSO, 2012).

Estima-se que o Brasil desperdice cerca de R\$ 8 bilhões ao ano por não reciclar materiais de construção (SCANDIUZZI, 2011). Dentre as vantagens dessa prática destacam-se a redução da poluição, do consumo de energia, do volume de aterros sanitários e de custos das habitações e obras de infraestrutura.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, criada pela Lei nº 12.305, de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010, criou como um dos seus principais instrumentos o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. (BRASIL, 2011). E dentre as metas específicas para os resíduos da construção civil destacam-se a eliminação de 100% das áreas de disposição irregular até 2014; implantação de aterros para preservação de materiais para uso futuro em 100% dos municípios atendidos por aterros desses resíduos até 2014; implantação de pontos de entrega voluntária, áreas de triagem e transbordo em 100% dos municípios; reutilização e reciclagem em 100% dos municípios destinando os resíduos para instalação de recuperação até 2027 e elaboração, pelos grandes geradores, dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção e de sistema declaratório de geradores, transportadores e áreas de destinação.

Pesquisas recentes vêm estudando diferentes maneiras de reciclar e reutilizar os resíduos industriais e de construção na fabricação de novos materiais e componentes empregados na construção civil, a exemplo das apresentadas nos Itens 3.2 e 3.3. Dentro deste contexto insere-se, também, o termo *inovação tecnológica*, que objetiva, entre outros fatores, meios de equacionar melhor a questão dos custos e diminuir as perdas, com elementos que, somados e bem elaborados ainda na fase de projeto, são relevantes para a otimização e racionalização e, como consequência, para a melhoria da qualidade dos serviços na indústria da construção civil e o surgimento de materiais sustentáveis.

Harrison (2006) enumerou algumas oportunidades em termos de inovação de produtos e processos construtivos onde destacam-se: alternativas para a redução do consumo de energia das edificações, redução da quantidade de resíduos gerados, reciclagem e reaproveitamento de resíduos, redução da emissão de gás carbônico na fabricação de materiais de construção, componentes capazes de sequestrar o gás carbono atmosférico e uso de materiais mais duráveis.

Nesta conjuntura, a presente pesquisa se insere no conjunto de estudos de materiais e produtos de caráter inovador dentro do setor da construção civil quando, em continuidade às pesquisas difundidas referentes a concretos ecológicos, propõe uma solução viável a uma aplicação com forte demanda mercadológica (dormente

ferroviário). Baseado na relação de Harrison (2007), as pesquisas recentes relacionadas ao concreto podem ser divididas com base em três vertentes importantes, destacadas a seguir:

- i) Os aglomerantes alternativos: a exemplo do ecocimento (desenvolvido por John Harrison), que substitui o carbonato de cálcio, nos fornos de produção, por carbonato de magnésio, demandando menores temperaturas de beneficiamento (o que reduz em cerca de 50% a emissão de dióxido de carbono do processo), além de possibilitar a incorporação de toda espécie de resíduo como agregado, sem reações que prejudicariam o desempenho do concreto (HARRISON, 2007; HARRISON, 2006; PEARCE, 2002). No Brasil, pesquisadores da UFRGS vêm desenvolvendo um cimento com o uso de cinzas volantes, resíduo proveniente de termoelétricas, ativadas por solução composta de resíduos de tijolos refratários dolomíticos e hidróxido de sódio, em substituição ao clínquer do cimento Portland (IOPPI, 2009). Também com os mesmos objetivos da pesquisa de Harrison, pesquisadores da COPPE/UFRJ vêm estudando o aproveitando do dióxido de carbono presente no ar para causar o endurecimento controlado do cimento, em uma reação química de carbonatação, além do emprego de fibras naturais em sua composição, reduzindo, também, o consumo de clínquer (MOTTA, 2011). Pode-se destacar ainda o uso de resíduos como a escória granulada de alto-forno, cal de carbureto, fosfogesso, gesso artificial, cinzas vegetais e sílica ativa (FREIRE, 2003)
- ii) Agregados reciclados: as pesquisas mais recentes relacionadas ao emprego de resíduos como agregados encontram-se melhor detalhadas no Item 3.2.
- iii) Fibras: as observações relacionadas ao emprego de fibras como adição ao concreto são apresentadas no Item 3.3.

### 3.2 AGREGADOS RECICLADOS

Objetivando a substituição dos agregados, miúdos e graúdos, por resíduos de naturezas diversas, destacam-se:

- Gonçalves (2001) realizou uma pesquisa bibliográfica, teórica e experimental sobre o emprego de resíduos de concreto como agregados graúdos e miúdos em novos concretos estruturais. Por meio dos ensaios para concreto fresco e endurecido previstos em norma concluiu, entre outros, que os agregados reciclados possuem massa específica menor que os tradicionais, absorção de água maior, resistência à compressão pouco influenciada, diminuição do módulo de elasticidade (muito por conta da substituição do agregado miúdo) e que, os resultados podem sofrer significativas alterações em função da qualidade do concreto de origem e da técnica adotada na demolição;
- Leite (2001) investigou as características granulométricas e físicas de agregados graúdos e miúdos reciclados obtidos através do beneficiamento de resíduos da construção e demolição (RCD) e posteriormente produziu concretos com diferentes frações dos mesmos;
- Lisboa (2004) avaliou o uso de resíduos na fabricação de dois tipos de concreto auto-adensável, um composto apenas pelos resíduos do beneficiamento do mármore e do granito e o outro, com a adição de 3% de sílica ativa, verificando melhorias na viscosidade e na coesão da mistura;
- Al-Akhras e Smadi *apud* Siddique e Naik (2004) estudaram a possibilidade da substituição parcial da areia por pneus de borracha triturados na argamassa cinza, obtendo resultados satisfatórios quando a resistência à compressão, tração e flexão;
- Barbosa *et al.* (2008) avaliaram a substituição da areia natural na confecção do concreto pelo rejeito de mármore triturado e rocha de

gnaisse britada comprovando o emprego do primeiro de forma satisfatória;

- O pó de mármore, segundo Corinaldesi et al (2010) mostra-se eficaz para argamassas e concretos, em adições de 10% em substituição da areia e com a utilização de plastificante mantendo a resistência à compressão ao mesmo nível de operacionalidade, comparável ao da mistura de referência, após 28 dias de cura.
- Barbosa *et al* (2011) realizaram uma avaliação comparativa entre concretos confeccionados com agregados naturais (areia de rio e brita) e agregados artificiais (areia proveniente do rejeito de mármore e RCD) resultando em um concreto adequado denominado concreto ecológico;
- Mais recentemente, Santos (2011) empregou o resíduo de mármore triturado em substituição ao agregado miúdo natural na fabricação de argamassas, resultando num produto final de alto desempenho denominado por ARGAD (Argamassa de Alto Desempenho);
- Pacheco-Torgal *et al* (2012) compilaram diversos estudos sobre o uso de pneus reciclados e garrafas PET na confecção do concreto comparando e apresentando seus resultados, em sua maioria positivos, no que se refere a trabalhabilidade, encolhimento, resistência a compressão, tração, flexão, módulo de elasticidade, isolamento térmico e durabilidade;
- Shi-Cong *et al* (2012) avaliaram a utilização de resíduos do concreto fresco provenientes das centrais de mistura como agregados graúdos no concreto em diferentes proporções de substituição e fatores água/cimento. Evidenciou-se com o aumento da proporção de resíduos a redução da densidade e do módulo de elasticidade estático e o aumento da absorção de água e da permeabilidade ao íon cloreto. A resistência do concreto apenas aumentou para fatores de água/cimento menores que 0,35, demonstrando que esses resíduos podem ser utilizados em concretos sem função estrutural.

De acordo com BCSD-GM (1999) e Lauritzen (1998) *apud* John (2000), existem várias barreiras que dificultam a introdução de novos produtos contendo resíduos: legais/ regulamentares, educação e informação, tecnológicas, econômicas e geográficas.

Muito se discute sobre a dificuldade de introdução de novas tecnologias no setor da construção civil. O baixo impacto comercial das inovações tecnológicas nos empreendimentos imobiliários; a existência de normas prescritivas, que determinam a adoção de soluções específicas ao invés de um desempenho mínimo; e o histórico brasileiro recente de novas tecnologias que resultaram em desempenhos, em alguns casos, insatisfatórios, podem ser apontados como algumas das principais razões.

No Brasil, o preconceito em relação ao uso de materiais reciclados em novos produtos também é um fator prejudicial à inserção dessas inovações no mercado. Mas, de acordo com MORENO (1998), mantidos o preço e a qualidade, os consumidores preferem produtos com menores impactos ambientais.

Cabe especialmente às instituições de pesquisa, vencer as resistências técnicas através de demonstrações de desempenho iguais ou superiores às alternativas tradicionais. Além disso, os sistemas de certificação ambiental também possuem um papel importante ao terem como base a teoria do desempenho na aprovação de processos e produtos.

Especificamente quanto aos resíduos do beneficiamento do mármore, um dos materiais alternativos da mistura proposta no presente estudo, segundo Gobbo et al (2004) *apud* Santos (2011), na extração e nas serrarias, perde-se de 10 a 20% dos volumes processados na forma de retalhos de pedras. Já as marmorarias perdem, em média, 20% do volume de chapas trabalhadas. Esses retalhos, quando britados, possuem grande potencial de utilização na fabricação de concretos e argamassas, conforme evidenciado nos estudos de Lisboa (2004), Barbosa et al. (2008), Corinaldesi et al (2010), Barbosa et al (2011) e Santos (2011), tornando-se uma alternativa de estudo viável à finalidade sugerida nesta pesquisa.



### 3.3 EMPREGO DE FIBRAS AO CONCRETO

Segundo Figueiredo (2000), nos concretos reforçados com fibras o comportamento frágil deste material é minimizado. O material passa a apresentar uma resistência residual a esforços mesmo após a ocorrência de fissuração, ou seja, passa a possuir características de um material pseudo-dúctil. Essa alteração de comportamento se deve as qualidades arraigadas pelas fibras e matriz e a interação ocorrente entre elas.

A ideia de usar fibras misturadas a outros materiais de construção para conseguir melhorar suas características remonta a tempos bem antigos. Segundo Figueiredo (2000), consta na Bíblia, no livro de Êxodo, relatos de tijolos de barro aos quais foi adicionada palha para a obtenção de um produto final de melhor qualidade. Em meados do século XIX, Joseph Lambot sugeriu a ideia de que fossem misturadas fibras contínuas em forma de arame ou de tela ao concreto fresco para que se criasse um novo material. Assim surgiu o concreto armado e o ferrocimento. (SCOARIS 2005).

Segundo ACI (2002), a partir de 1898, a utilização de fibras de amianto como reforço as pastas de cimento desenvolveu-se em grande escala, porém, principalmente devido aos riscos à saúde associados a essas fibras, a partir das décadas de 60 e 70, fibras alternativas começaram a ser introduzidas no mercado. Apesar dos estudos anteriores de Lambot, apenas no final da década de 50 o uso de fibras metálicas espaçadas e aleatórias no concreto começou a ser investigado. Desde o início da década de 60 esse tipo de fibra vem sendo empregado com sucesso nas mais diversas finalidades, muito por conta do desenvolvimento em paralelo de outras tecnologias, a exemplo da sílica ativa e aceleradores, que minimizaram os aspectos negativos de permeabilidade.

Atualmente, uma vasta gama de produtos como cerâmicas, plásticos, cimento e produtos de gesso vêm incorporando fibras a seus compostos como forma de melhorar suas resistências a tração, compressão, impacto e abrasão, durabilidade, módulo de elasticidade, expansão, características térmicas e resistência ao fogo.

As fibras em uso atualmente para reforçar o concreto podem ser classificadas em quatro tipos: fibras de aço, fibras de vidro, fibras sintéticas e fibras naturais. No Brasil, nos últimos anos, pode-se mencionar o seguinte estudo no que se refere aos dormentes de concreto, objeto dessa pesquisa: Bastos (1999) projetou um dormente monobloco de concreto protendido que foi submetido previamente a ensaios estáticos e dinâmicos seguindo as especificações da norma americana AREMA e em seguida, analisou comparativamente a resistência estrutural de amostras com e sem reforço com fibras de aço. Como resultado, as fibras aumentaram as propriedades mecânicas, acrescentaram ductilidade e reduziram a tensão nos fios de protensão, nos estágios mais avançados de carregamento.

O uso de fibras naturais tiveram, como maior incentivo, a diminuição de custos de materiais fibrosos e o fato de evitarem o uso do amianto. Porém, em alguns casos, apresentam elevada absorção de água ocasionando, após a cura do cimento, a retração do concreto e conseqüente perda de aderência entre o mesmo e a matriz (BARBOSA, 2008).

Apesar de todos os benefícios, as fibras incorporadas ao concreto também podem agregar desvantagens em seu uso. O aspecto estético pode ser comprometido, já que parte das fibras podem permanecer na superfície do concreto mesmo após o correto procedimento com relação ao acabamento superficial. Além disso, a falta de uma normatização para a fabricação e parâmetros de qualidade ainda inibem a popularização das fibras no mercado. No entanto, de acordo com o ACI (2002), a opção pelas fibras (descontínuas e distribuídas aleatoriamente) em detrimento às barras de aço de reforço ou pré-reforço, que também aumentam a resistência do concreto, é mais econômica, devido à simplicidade do seu processo de fabricação.

Os primeiros estudos sobre a fibra de vidro como reforço de massas cimentícias data da década de 1950, na antiga URSS. Estas eram constituídas por borossilicato (*E-glass*) ou soda-cal-sílica (*A-glass*). Pouco tempo depois, foi identificado que tais fibras eram facilmente destruídas devido à alta alcalinidade da matriz a base de cimento (pH 12,5) (ACI, 2002).

A pesquisa continuada, no entanto, possibilitou o desenvolvimento de uma fibra de vidro álcali-resistente (*AR-glass fiber*), através da adição de zircônia em sua composição. No entanto, durante muito tempo o conhecimento necessário à fabricação dessa nova fibra foi protegido, o que não impossibilitou sua ampla aplicação na indústria da construção, especialmente nas duas últimas décadas.

As propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibra de vidro variam em função do tipo de fibra, teor de polímero utilizado, razão água-cimento, porosidade, teor de areia, orientação e comprimento das fibras e processo de cura (ACI, 2002).

Conforme verificado na Tabela 2, a adição de fibras é responsável pelo aumento da resistência e da ductilidade do concreto. Após a fissuração, a maior parte da deformação é atribuída à extensão da fibra. Com o aumento da carga e da deformação, começam a ocorrer quebras múltiplas além do limite elástico proporcional, o que resulta no escorregamento das fibras (ou *pull-out*) de forma a abranger as rachaduras e resistir à carga aplicada.

A interação fibra-matriz também constitui um fator determinante na adição desses materiais no desempenho final do concreto. Dentre os parâmetros mais importantes destacam-se: o teor de fibras (contrapondo-se a trabalhabilidade), comprimento crítico (em função da transferência da tensão tangencial de atrito entre a matriz e a fibra), fator forma, módulo de elasticidade da fibra, distribuição e ancoragem e o volume crítico (que suportará o carregamento após a fissuração).

A exposição prolongada desses concretos a ambientes abertos pode alterar algumas das propriedades mencionadas, além de ocasionar mudanças volumétricas cíclicas (em função das alterações climáticas). O concreto totalmente envelhecido pode perder cerca de 40% da resistência inicial, enquanto a capacidade de deformação e ductilidade decresce em média 20%. A perda de ductilidade aliada às constantes variações dimensionais pode resultar no desenvolvimento de trincas e fissuras, tornando a mistura inapropriada a componentes muito confinados, exceto quando usadas juntas ou conexões flexíveis.

**Tabela 2-** Propriedades mecânicas típicas de concretos reforçados com fibra de vidro AR (na idade de 28 dias)

Fonte: ACI (2002)

Propriedade	Sistema AR-GRFC (Concreto reforçado com fibra de vidro) *
Resistência à flexão (MPa)	
Módulo de Ruptura (MOR)	17,24 - 27,58
Limite Elástico Proporcional (PEL)	6,20 - 10,34
Resistência à tração (MPa)	
Resistência à tração final (UTS)	6,89 - 11,03
Limite de ruptura	4,83 - 6,89
Resistência ao cisalhamento (MPa)	
Interlaminar	2,76 - 5,52
No plano	6,89 - 11,03
Resistência ao impacto (MPa)	
Charpy Test	0,38 - 0,97
Densidade a seco (kg/m <sup>3</sup> )	1922,28 - 2242,66

\* Processo *Spray Up* (não desidratado) de fabricação com 5% do peso de fibra, areia: cimento variando entre 1:3 e 1:1, e fator água cimento variando entre 0,25 e 0,35.

Dois teorias são sugeridas para justificar a perda de resistência do compósito. A primeira relaciona-se ao ataque de álcalis às superfícies das fibras, resultando na redução da sua resistência a tração e, subsequentemente, na perda de resistência do concreto. A segunda, mais aceita, refere-se ao preenchimento dos espaços entre os filamentos de vidro da fibra pelo hidróxido de cálcio, resultante da hidratação do cimento, aumentando a ligação entre esses filamentos e reduzindo a flexibilidade do material. É ainda possível que ambas as teorias ocorram paralelamente, em diferentes proporções, sendo conhecido que o primeiro caso ocorre mais frequentemente em fibras do tipo *E-glass* e o segundo caso, nas *AR-glass* (ACI, 2002).

Mňahončáková et al (2008) avaliaram as propriedades mecânicas, térmicas e de umidade de compósitos cimentícios reforçados com fibra de vidro. Observaram que modificações importantes quanto à resistência à tração, resistência à flexão, difusividade da umidade, resistência à difusão do vapor d'água, absorção isotérmica

e condutividade térmica entre o estado descarregado e o de pré-aquecido a 600°C, seguramente acima da temperatura de decomposição do hidróxido de cálcio. A aceleração da transferência de calor em torno dessa temperatura aumenta e, conseqüentemente, diminui-se a capacidade de proteção a incêndios.

A perda da capacidade de deformação (módulo de elasticidade) pode ser mais importante em longo prazo que a perda de resistência, uma vez que aumenta a sensibilidade do concreto a rachaduras. Neste sentido, estudos relacionados à adição de partículas de polímeros às misturas que utilizam o *AR-glass* podem fornecer vantagens importantes, como a redução da absorção de água e a redução dos movimentos de encolhimento. Essas partículas, extremamente finas, são capazes de preencher os vazios existentes entre os filamentos de vidro da fibra, impedindo, assim, a entrada do hidróxido de cálcio e também o ataque alcalino. Ao se comparar experimentos por meio de envelhecimento acelerado e exposição ao intemperismo real, a adição desses polímeros não conduziu a redução da resistência, tendo-se observado, inclusive, melhorias em relação ao padrão para adições de no mínimo 5% do volume total (MCDONALD et al; 1991).

Bijen (1990) propôs um ensaio de envelhecimento acelerado alternativo que simulava com maior fidelidade a variação cíclica do clima, obtendo maior correlação entre os dados obtidos através do ensaio com os dados extraídos em campo. Neste ensaio, para uma adição de polímero na ordem de 5%, foi observado um acréscimo de 5 MPa no módulo de ruptura da resistência à compressão.

Uma variedade de fibras sintéticas vem sendo desenvolvida nas indústrias petroquímica e têxtil para uso na construção civil. Isso se justifica pela grande diversidade de materiais e compostos disponíveis. Sua maior aplicação, atualmente, ocorre na confecção de lajes planas, embora na proporção de apenas 0,1% do volume total. Quando utilizada em porcentuais mais elevados, entre 0,4 e 0,7 %, oferecem melhorias significativas quanto à tenacidade, distribuição das rachaduras e largura das fendas. Destacam-se entre estas e que já foram experimentadas em concretos de cimento Portland: o acrílico, a aramida, o carbono, o nylon, o poliéster, o polietileno e o polipropileno.

A escolha da fibra a ser empregada em uma mistura varia de acordo com as características preteridas, visto que os diversos tipos de fibras sintéticas disponíveis no mercado possuem propriedades mecânicas muito divergentes. Algumas dessas propriedades (das fibras isoladamente) são apresentadas na Tabela 3.

Fibras de nylon, com densidade específica de  $1,14 \text{ kg/dm}^3$  foram utilizadas por Nascimento et al. (1997) *apud* Freire (2003) como reforços de argamassa de cimento conferindo a esse material notável redução na retração por secagem, pequenos acréscimos no valor de resistência a compressão (para as maiores idades) e praticamente nenhum efeito sobre a resistência à tração.

Similarmente, Dafico et al (1997) *apud* Freire (2003) avaliaram o uso de quatro teores de fibra de polipropileno em argamassas de assentamento de blocos cerâmicos com furos na vertical. Concluíram que o teor de 0,5% garantiu maior trabalhabilidade à argamassa fresca e pequena redução na compressão diametral dos corpos-de-prova.

As fibras plásticas, em especial as de polipropileno, são resistentes aos ácidos, álcalis, água do mar e produtos químicos, além de possuírem grande resistência à quebra e à abrasão e serem menos susceptíveis ao desgaste e ao rasgo (FREIRE, 2003).

Dave e Desai (2008) compararam por meio de experimentos as propriedades mecânicas de dois traços de concreto diferentes reforçados com fibras de polipropileno, poliéster e de vidro AR. Apesar de identificada a redução da trabalhabilidade em todos os casos, correlacionada ao aumento da dosagem de fibras, a resistência à compressão aumentou continuamente também em todas as amostras, embora de forma pouco significativa. Os melhores resultados foram observados nas misturas com polipropileno, com melhorias na ordem de 9,31% a 15,30%, após 28 dias. Já quanto à resistência à tração e à flexão, também após 28 dias, não foram evidenciadas vantagens consistentes em nenhuma das amostras, com exceção de uma pequena melhoria em algumas das dosagens com polipropileno. De uma forma geral, as amostras com fibras de polipropileno apresentaram desempenho mais vantajoso quanto à resistência.

**Tabela 3 - Propriedades mecânicas típicas de fibras sintéticas**  
Fonte: ACI (2002)

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Diâmetro equivalente (mm X 10<sup>-3</sup>)</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Resistência à tração (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidade (MPa)</b>	<b>Alongamento final (%)</b>	<b>Temperatura de ignição (°C)</b>	<b>Temperatura de derretimento, oxidação e decomposição (°C)</b>	<b>Absorção de água pela ASTM D 570 (% do peso)</b>
Acrílico	12,7 - 104,14	1,16 - 1,18	268,90 - 999,77	13790 - 19306	7,5 - 50,0	-	221,11 - 235	1,0 - 2,5
Aramida I	11,94	1,44	2930,37	62055	4,4	alta	482,22	4,3
Aramida II (Módulo elevado)	10,16	1,44	2344,30	117215	2,5	alta	482,22	1,2
Carbono, PAN HM (Poliacrilonitrilo com base, Módulo elevado)	7,62	1,6 - 1,7	2482,20 - 3033,80	379914,5	0,5 - 0,7	alta	400	zero
Carbono, PAN HT (Poliacrilonitrilo com base, Elevada resistência à tração)	8,89	1,6 - 1,7	3447,50 - 3999,10	230293	1,0 - 1,5	alta	400	zero
Carbono, pitch GP (Base isotrópica)	9,91-12,95	1,6 - 1,7	482,65 - 792,93	27580 - 34475	2,0 - 2,4	alta	400	3,7
Carbono, pitch HP (Alta performance)	8,89-17,78	1,80 - 2,15	1516,90 - 3102,75	151690 - 482650	0,5 - 1,1	alta	500	zero
Nylon	22,86	1,14	965,30	5171,25	20	-	200 - 221,11	2,8 - 5,0
Poliéster	19,81	1,34 - 1,39	227,54 - 1103,20	17237,5	12 - 150	593,33	207,22	0,4
Polietileno	25,4-1016	0,92 - 0,96	75,85 - 586,08	4998,88	3 80	-	133,89	zero
Polipropileno	-	0,90 - 0,91	137,90 - 689,50	3447,50 - 4826,50	15	593,33	165,56	zero

Já Hadi (2008) comparou as propriedades de amostras de concreto com adições de fibras de aço e fibras de polipropileno através de ensaios de resistência à flexão, compressão e tração; tensão-deformação e absorção de energia. Quanto às resistências, não evidenciaram diferenças significativas entre as amostras e o padrão e também entre elas. Nos ensaios de deformação, foi demonstrado que para proporções de fibra em torno de 0,5%, as amostras com polipropileno apresentaram valores menores que as de aço, mas para proporções em torno de 1%, ocorreu o oposto. Em relação à absorção de energia, as amostras com fibras de aço apresentaram resultados consideravelmente superiores.

Dave e Desai (2008b) investigaram os efeitos do intemperismo em concretos reforçados com fibras de polipropileno. As amostras foram condicionadas a variações cíclicas de temperatura e umidade de forma a induzir ataques de sulfatos. Sob essas condições, foi verificado que as propriedades mecânicas não foram modificadas, no entanto, o comportamento térmico do concreto foi melhorado e o risco de fissuras e rachaduras decresceu.

A fibra óptica, largamente utilizada em sistemas de telecomunicação, sistemas de TV de alta resolução, sensoriamento de grandezas físicas e químicas e até mesmo na medicina e na indústria automobilística, quanto à classificação de seus materiais, pode ser considerada uma fibra híbrida. Isso porque é obrigatoriamente composta por materiais dielétricos cristalinos e homogêneos distintos formando capilares concêntricos. O centro desses capilares (miolo) deve possuir um índice de refração maior que a camada que o envolve (casca), de forma a permitir a ocorrência da reflexão interna total. Por esse motivo, na maioria dos casos, usa-se a combinação sílica (vidro) / plástico ou, em menor escala, plásticos diferentes, para o núcleo e a casca, respectivamente (NASCIMENTO E DUARTE, 2002).

Por serem, em alguns casos, extremamente finos e frágeis, tanto em seu processo de fabricação, como durante sua fase de uso e, embora o conjunto núcleo/casca seja revestido por uma segunda camada de proteção também polimérica, o manuseio dessas fibras é delicado e, uma vez quebradas, seus resíduos não podem ser integralmente reaproveitados para a mesma finalidade.



Estudos voltados à reciclagem desse material ainda encontram-se insuficientemente explorados.

Como já verificado, embora muito resistentes, as fibras de vidro estão sujeitas a ataques alcalinos e a penetração de hidróxido de cálcio entre seus filamentos, o que implica negativamente no seu emprego em alguns compósitos. Por sua vez, alguns estudos, a exemplo dos citados nos parágrafos anteriores, já evidenciaram a resistência química de fibras poliméricas, bem como sua capacidade de impedir que o hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento preencha os vazios entre os filamentos de fibra de vidro. Tendo em vista essas considerações, resíduos de fibra óptica agrupam características vantajosas de ambas as fibras mencionadas configurando, portanto, uma nova oportunidade para o reforço de concretos a ser analisada.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS**

##### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A parte técnica deste trabalho visou avaliar as propriedades de uma mistura destinada a fabricação de dormentes de concreto, constituída por: cimento Portland, rejeito de mármore (substituindo a areia natural como agregado miúdo), rocha gnáissica britada (agregado graúdo) e fibras (rejeito de fibra ótica) realizando-se ensaios de caracterização física e mecânica de acordo com as normas brasileiras vigentes.

Foram confeccionados corpos de prova empregando-se o traço: 1:1,83:2,83:0,46:0,007 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: fator água/cimento: adição(fibras)), em continuidade ao trabalho iniciado por Barbosa (2009), objetivando obter a resistência à compressão mínima aos 28 dias de idade superior a 40 MPa, valor estipulado em norma (NBR11709, 2010) para dormentes bibloco de concreto armado.

O fator água/cimento adotado no traço experimentado, 0,46, superior ao máximo estipulado na NBR 11709 (ABNT, 2010), 0,38, se justifica pela elevada absorção de água do rejeito de mármore. Esta característica inviabilizou a adoção

da proporção prescrita ao prejudicar consideravelmente a trabalhabilidade da mistura e a confecção dos corpos-de-prova.

Ao julgar que, em se tratando de materiais diferentes dos também determinados na norma, o fator água/cimento não poderia influenciar substancialmente as propriedades avaliadas, sendo então modificado de forma a possibilitar a continuidade do experimento. Conforme apresentado na Figura 14, o traço utilizado possibilitou a confecção dos corpos-de-prova manualmente, sem que houvesse desagregação ou exsudação excessiva.



**Figura 14** – Confecção manual dos corpos-de-prova

O acréscimo de resistência pouco expressivo em concretos com adição de fibras se justifica, em partes, pela perda de trabalhabilidade ocasionada pela heterogeneidade na distribuição das mesmas na mistura e consequente incorporação de ar. No entanto, o uso de plastificantes e superplastificantes pode minimizar esse inconveniente sendo, inclusive, uma solução para o atendimento do fator água/cimento prescrito na norma.

## 4.2 MATERIAIS

Os materiais empregados encontram-se discriminados a seguir.

- Cimento: do tipo CP V

- Água: proveniente da rede de abastecimento de Juiz de Fora- MG, CESAMA
- Agregado Miúdo Artificial: proveniente do britamento do rejeito de mármore, com diâmetro máximo igual a 4,8 mm, vide Tabela 4, com graduação granulométrica na zona ótima, segundo a normalização brasileira, NBR NM 248/ 2003
- Agregado Graúdo: com diâmetro máximo de 25,0 mm, oriundo da pedreira “P”, situada na cidade de Matias Barbosa (MG), de origem gnáissica (vide Tabela 4)
- Resíduos do processo de fabricação de fibras de vidro de silicato, fosfato e germanato com diâmetros variados, recobertas com acrilato (ácido acrílico e prepolímero), comercialmente denominadas fibras ópticas para transmissão de dados, adicionadas ao concreto para reforço estrutural.

**Tabela 4 – Característica dos agregados**

<b>Propriedades</b>	<b>AGREGADO MIÚDO (rejeito de Mármore)</b>	<b>AGREGADO GRAÚDO (rocha gnáissica)</b>
Diâmetro característico máximo (mm) - ABNT NBR NM 248 (2003)	4,8	25
Graduação granulométrica - ABNT NBR NM 248 (2003)	Granulometria Ótima	Graduação 1
Módulo de finura - ABNT NBR NM 248 (2003)	2,75	6,53
Massa específica real (Kg/dm <sup>3</sup> ) - ABNT NBR NM 52 (2009)	2,91	2,70
Massa específica aparente (Kg/dm <sup>3</sup> ) - ABNT NBR NM 45 (2006)	1,74	1,36
Teor de material pulverulento (%) - ABNT NBR NM 46 (2003)	5,0	0,20
Impureza Orgânica (p.p.m) - ABNT NBR NM 49 (2001)	<300	< 300
Torrões de argila (%) - ABNT NBR 7218 (2010)	Isento	Isento
Absorção de água (%) - ABNT NBR NM 30 (2001)	1,27	****

#### 4.3 MÉTODOS

Para a confecção do concreto foi adotado o método tradicional com o uso de uma betoneira e as fibras, quebradas em comprimentos em torno de 2,5 cm, foram inseridas ao longo do processo de mistura.

A ABNT NBR 11709 (ABNT, 2010) determina os ensaios necessários à validação do concreto, homologação de projeto e controle da produção.

A presente pesquisa dedicou-se efetivamente a execução dos ensaios de caracterização do concreto endurecido, conforme demonstrado na Tabela 5, sendo que a norma apenas exige a execução dos três primeiros ensaios.

**Tabela 5**– Ensaio, tempo de cura e número de corpos de prova.

Ensaio	Idade	Dimensão do CP	Número de corpos-de-prova
Resistência à compressão axial - NBR 5739 (2007)	3	10x20cm	6
	7		6
	28		6
Resistência à tração por compressão diametral – NBR 7222 (2010)	3	10x20cm	6
	7		6
	28		6
Resistência à tração na flexão – NBR 12142 (2010)	28	15x15x60cm	4
Módulo de elasticidade - NBR 8522 (2008)	28	15x30cm	3
Coefficiente de Poisson - NBR 8522 (2008)	28	15x30cm	3
Absorção por imersão - NBR 9778 (2005)	28	10x20cm	3
Absorção por sucção capilar - NBR 9779 (1995)	28	10x20cm	3

#### 4.3.1 Resistência à compressão

A ABNT NBR 5739 (ABNT, 2007) prescreve o método de ensaio para compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto moldados de acordo com a ABNT NBR 5738 (ABNT, 2003). Neste ensaio, os corpos-de-prova são submetidos à compressão nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias com velocidade contínua de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s até o seu rompimento. A resistência a compressão é então calculada através da Equação 1.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

$f_c$ : resistência a compressão, em MPa

F: força máxima alcançada, em N

D: diâmetro do corpo-de-prova, em mm.

#### 4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

O método de ensaio para a determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos de concreto é determinado pela ABNT NBR 7222 (ABNT, 2010). A tensão de tração deve aumentar continuamente a uma velocidade de  $(0,05 \pm 0,02)$  MPa/s até a ruptura do corpo-de-prova. A resistência a tração por compressão diametral é então obtida por meio da Equação 2.

$$f_{t,D} = \frac{2F}{\pi dL} \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

$f_{t,D}$ : resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa

F: carga máxima obtida no ensaio, expressa em KN

d: diâmetro do corpo-de-prova, em mm

L: altura do corpo-de-prova, em mm.

#### 4.3.3 Resistência à tração na flexão

A ABNT NBR 12142 (ABNT, 2010) estabelece o método de ensaio de tração por flexão de corpos de prova de concreto, empregando o princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão. Nesse

ensaio, a força é aplicada perpendicularmente as faces inferior e superior do corpo-de-prova a uma velocidade contínua dentro do intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min até o seu rompimento. Após o ensaio, o corpo-de-prova tem sua altura e largura medidas em sua seção de ruptura e a resistência à tração na flexão é obtida por meio da Equação 3.

$$f_{ct,f} = \frac{F\ell}{bd^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Caso a ruptura se dê fora do terço médio do corpo-de-prova, a uma distância menor do que 5% de  $\ell$ , prescreve-se o uso da Equação 4.

$$f_{ct,f} = \frac{3Fa}{bd^2} \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

$f_{ct,f}$ : resistência à tração na flexão, expressa em MPa

F: força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em N

$\ell$ : dimensão do vão entre apoios, expressa em mm

$b$ : largura média do corpo de prova, expressa em mm

$d$ : altura média do corpo de prova, expressa em mm

$a$ : distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em mm.

#### 4.3.4 Módulo de elasticidade

Embora a NBR 11709 (ABNT, 2010) não prescreva a necessidade de determinação do módulo de elasticidade do concreto para dormentes, o estudo dessa propriedade possui relevante interesse comercial. Isto porque, para atender satisfatoriamente e pelo tempo projetado às solicitações estáticas e, sobretudo, dinâmicas, características de vias permanentes, é necessário comprovar que o dormente é capaz de absorver parte das cargas previstas sem sofrer deformações permanentes que prejudicariam a segurança e a vida-útil da via.

A NBR 8522 (ABNT, 2008) especifica o método para a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto endurecido em corpos-de-prova cilíndricos moldados ou extraídos da estrutura.

Os corpos-de-prova devem ter 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura ou obedecer à condição:  $1,98 \leq L/d \leq 2,02$ , sendo que o diâmetro  $d$  deve ser maior que quatro vezes a dimensão máxima característica do agregado graúdo do concreto.

Para a determinação do módulo de elasticidade, três corpos-de-prova devem ser ensaiados e os carregamentos e descarregamentos devem obedecer a velocidade de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s.

Na primeira metodologia apresentada pela norma, a força de carregamento corresponde à tensão do limite superior  $\sigma_b$  (30% da tensão de ruptura obtida através do ensaio de resistência a compressão ou outra tensão especificada em projeto) e deve ser mantida sobre o corpo-de-prova por 60 s. Após o descarregamento, uma força correspondente a tensão de 0,5 MPa ( $\sigma_a$ ) é exercida e mantida também por 60s e em seguida, novamente a tensão  $\sigma_b$  deve ser aplicada por 60 s, sendo repetidos posteriormente os dois últimos procedimentos. Por fim, carrega-se o corpo-de-prova novamente a tensão  $\sigma_a$  por 60s e registram-se as deformações  $\varepsilon_a$  obtidas em, no máximo, 30s. Realiza-se, então, o mesmo procedimento para a tensão  $\sigma_b$ , encontrando  $\varepsilon_b$ . Depois de lidas as deformações, carrega-se o corpo-de-prova até causar sua ruptura, obtendo-se assim a resistência efetiva ( $f_{c, ef}$ ).

O cálculo do módulo de elasticidade  $E_{ci}$  para essa metodologia, em gigapascals, é feito através da Equação 5.

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3} \quad (\text{Equação 5})$$

Na segunda metodologia, após o primeiro carregamento correspondente a tensão do limite superior  $\sigma_b$ , carrega-se o corpo-de-prova até que o mesmo atinja um deslocamento correspondente à deformação específica de  $50 \times 10^{-6} (\varepsilon_a)$ , mantendo-a por 60s, posteriormente exercendo o carregamento de  $\sigma_b$ , sendo repetidos em seguida os dois últimos procedimentos. Por fim, carrega-se novamente o corpo-de-

prova até  $\varepsilon_a$  e anota-se a força lida em no máximo 30s, calculando-se, com esse valor, a tensão  $\sigma_a$ . Repete-se o procedimento com a tensão  $\sigma_b$  e carrega-se o corpo-de-prova até sua ruptura, obtendo-se assim o valor da resistência efetiva ( $f_{c, ef}$ ).

Em ambas as metodologias, caso esse valor se diferencie em mais de 20% de  $f_c$ , os resultados devem ser descartados. O módulo de elasticidade  $E_{ci}$  nesse caso é obtido, em gigapascals, por meio da Equação 6.

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - 50 \times 10^{-6}} 10^{-3} \quad (\text{Equação 6})$$

O coeficiente de Poisson é obtido através da seguinte expressão:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{tf} - \varepsilon_{ti}}{\varepsilon_{lf} - \varepsilon_{li}} \quad (\text{Equação 7})$$

onde

$\mu$ : coeficiente de Poisson

$\varepsilon_{tf}$ : deformação transversal específica final, para 30% da tensão de ruptura

$\varepsilon_{ti}$ : deformação transversal específica inicial, com tensão a 0,5 MPa

$\varepsilon_{lf}$ : deformação longitudinal específica final, para 30% da tensão de ruptura

$\varepsilon_{li}$ : deformação longitudinal específica inicial, com tensão a 0,5 MPa.

#### 4.3.5 Absorção de água por imersão

Esse ensaio avalia a porosidade do concreto em corpos-de-prova. De acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987), a absorção é dada pela Equação 8:

$$A_i = \frac{m_a - m_b}{m_b} \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

onde

$A_i$ : absorção de água por imersão (%)

$m_b$ : massa do corpo-de-prova seco em estufa (g)

$m_a$ : massa do corpo-de-prova imerso em água por 72 horas (g).



#### 4.3.6 Absorção de água por capilaridade

Utilizou-se a NBR 9779 (ABNT, 1995) para execução deste ensaio optando-se por determinar as massas dos corpos-de-prova com 72 horas, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

A absorção de água por capilaridade foi expressa em g/cm<sup>2</sup> e calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo-de-prova em contato com a água, de acordo com a Equação 9:

$$A_c = \frac{A - B}{S} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

onde

A<sub>c</sub>: absorção de água por capilaridade (%)

A: massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água (g)

B: massa do corpo-de-prova seco (g)

S: área da seção transversal (cm<sup>2</sup>).

O emprego do resíduo do beneficiamento do mármore, ainda pouco explorado, possui potencial de utilização na construção civil. Neste sentido, há diversos estudos efetuados, conforme mencionado no capítulo 3, que visam seu aproveitamento.

Este trabalho dá prosseguimento aos estudos iniciados em 2006 na UFJF onde se comprovou que os concretos elaborados com o rejeito de mármore triturado apresentaram características mecânicas e de durabilidade superiores às do concreto de referência, mostrando a viabilidade da utilização desses rejeitos para confecção de concreto.

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos nos estudos efetuados empregando-se o mesmo traço deste trabalho, ou seja, 1 : 1,83 : 2,83 : 0,46

(cimento: agregado miúdo (rejeito de mármore): agregado graúdo: água) (BARBOSA, 2009).

**Tabela 6** – Resultados obtidos nos estudos efetuados por BARBOSA (2009)

Ensaio	Idade	Resultado Médio
Resistência à compressão axial (MPa)	28	36,46
	120	37,66
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	28	4,29
	120	4,50
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	5,09
Módulo de deformação (GPa)	28	51,19
Coefficiente de Poisson	28	0,48
Absorção de água por imersão (%)	28	5,47
Absorção de água por sucção capilar (%)	28	0,81

Neste contexto, para o mesmo traço, a inclusão dos resíduos de fibra óptica busca, desta forma, melhorar as propriedades do produto a fim de possibilitar um destino adequado à “nova mistura”.

#### 4.4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos através da realização dos ensaios supracitados em acordo com o apresentado anteriormente na Tabela 5 encontram-se discriminados na Tabela 7, com o respectivo coeficiente de variação da amostra (CV).

Salienta-se que o CV é uma análise estatística preliminar onde avalia-se a variação dos resultados de um experimento. Este procedimento é empregado quando se deseja comparar a variabilidade de várias amostras com o seu valor médio; se o valor de CV é menor que 25% a amostra é aceita.

Conforme verificado, a resistência a compressão, único parâmetro cujo valor é estipulado na NBR 11709 (2010), atingiu em 28 dias o valor superior ao mínimo de 40 MPa, confirmando, assim, que a mistura, sob esse aspecto, pode ser empregada na fabricação de dormentes de concreto.

Analisando a Tabela 7 verifica-se que todas as amostras possuem um coeficiente de variação inferior a 25%, donde conclui-se que os resultados obtidos são aceitos, bem como o ganho na resistência à compressão com a inclusão das fibras é na ordem de 27% e na resistência à tração (compressão diametral e tração na flexão) de 21%.

Tabela 7– Resultados dos ensaios.

Cimento CP V ARI – Concreto com Granulometria Ótima (S = 80 mm)									
Ensaio	Idade	Resultados individuais						Resultado Médio	Coefficiente de variação(%)
Resistência à compressão axial (MPa)	3	26,60	26,31	26,06	25,65	25,10	27,20	26,16	1,54
	7	37,97	36,32	36,30	37,32	35,50	38,45	36,98	2,20
	28	47,99	44,09	46,63	46,50	44,45	48,14	46,30	3,50
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	3,01	3,61	3,56	3,41	3,26	3,53	3,40	8,07
	7	4,99	5,15	4,79	4,93	4,76	5,16	4,97	3,02
	28	5,20	5,17	5,23	5,13	4,97	5,39	5,19	0,88
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	5,97	6,26	6,21	6,18	-	-	6,15	2,53
Módulo de elasticidade (GPa)	28	38,88	42,37	41,56	-	-	-	40,93	4,41
Coefficiente de Poisson	28	0,35	0,39	0,4	-	-	-	0,38	6,74
Absorção de água por imersão	28	5,58	5,36	5,48	-	-	-	5,47	2,01
Absorção de água por sucção capilar	28	0,74	0,83	0,86	0,80	-	-	0,81	7,71

Em seguida, efetuou-se uma análise estatística nos dados médios obtidos nos ensaios realizados, através do programa computacional EXCEL, empregando a ferramenta de análise ANOVA e nível de significância de 5%, a fim de se verificar estatisticamente o efeito da influência do fator idade do concreto na propriedade estudada e os resultados encontram-se na Tabela 8.

**Tabela 8** – Resultados obtidos na análise estatística para a resistência à compressão e resistência à compressão diametral – Valores de F

F (fator)	$f_c$	$f_{ctsp}$
Calculado	0,03	0,04
Tabelado	3,47	3,47

Com base no valor de resistência à compressão aos 28 dias obtido nos ensaios e através do uso das equações de conversão 10, 11 e 12, os valores de resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão do concreto, caso este fosse confeccionado com materiais convencionais, seriam em torno de 4,30 MPa e 2,97 MPa, respectivamente. Pode-se observar que, para as mesmas propriedades, os resultados encontrados na mistura proposta (Figuras 15, 16, 17 e 18), após 28 dias, mostraram-se vantajosos, especialmente quanto à tração na flexão.

Analisando a tabela 8, verifica-se que F calculado é menor que F tabelado o que permite afirmar que a resistência tende a aumentar com a idade do ensaio.

De acordo com Pinheiro (2007), para misturas de concreto armado tradicionais, a conversão da resistência à compressão para valores aproximados de resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão pode ser obtida através das seguintes equações:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{Equação 10})$$

$$f_{ctm} = 0,9 f_{ct,sp} \quad (\text{Equação 11})$$

$$f_{ctm} = 1,3 f_{ct,f} \quad (\text{Equação 12})$$

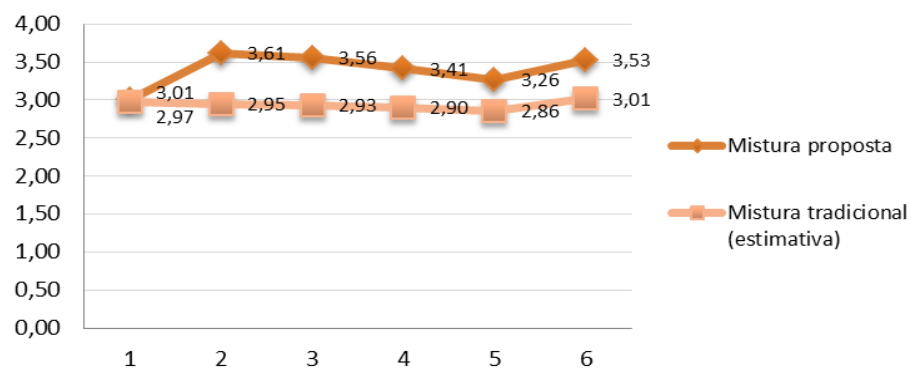
onde

$f_{ctm}$  : resistência a tração direta

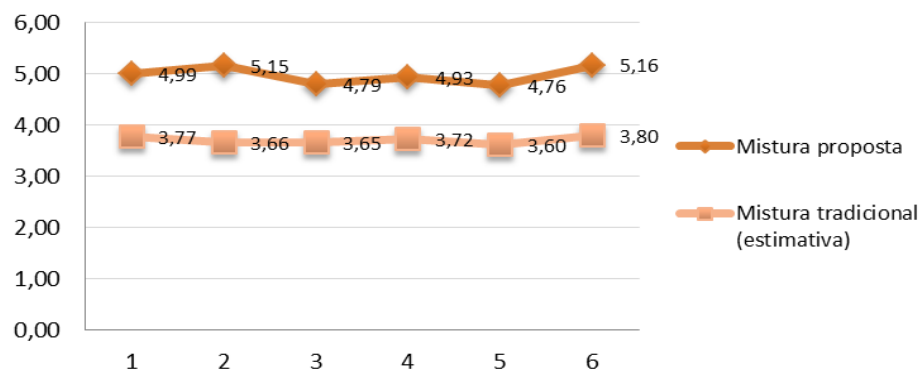
$f_{ck}$ : resistência à compressão

$f_{ct,sp}$ : resistência à tração por compressão diametral

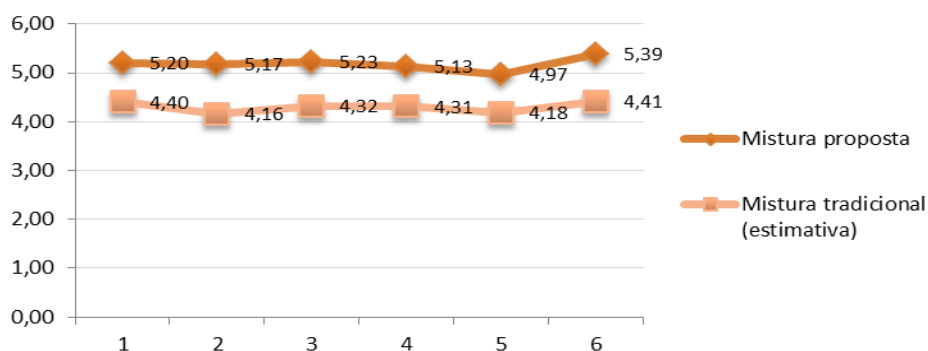
$f_{ct,f}$ : resistência a tração na flexão



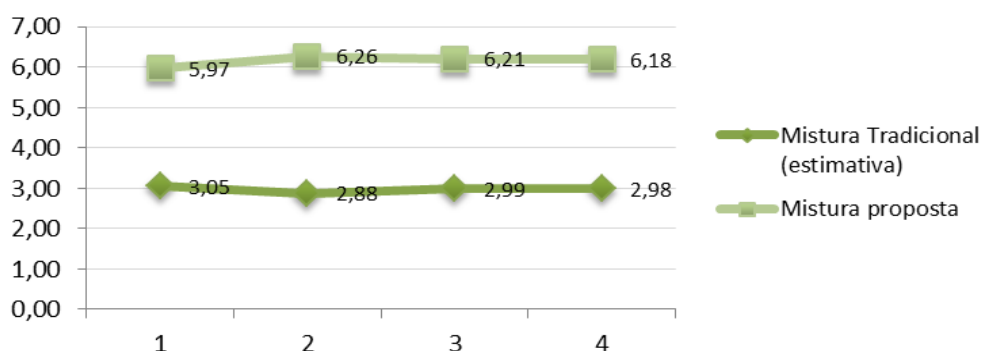
**Figura 15** – Resistência à tração por compressão diametral (3 dias)



**Figura 16** – Resistência à tração por compressão diametral (7 dias)



**Figura 17** – Resistência à tração por compressão diametral (28 dias)



**Figura 18** – Resistência à tração na flexão (28 dias)

A resistência à tração na flexão configura uma propriedade extremamente importante no caso de dormentes de concreto. Como já mencionado, este componente sofre solicitações em áreas bem específicas, potencializando os momentos fletores, muito em função da influência das curvas sobre a carga da roda no trilho, forças de impacto, condições de apoio, entre outros. As forças de impacto ocorrem de forma muito abrupta, principalmente no carregamento dos vagões, exigindo dos dormentes de concreto alta resistência à rupturas. Como evidenciado na Figura 18, a mistura proposta ofereceu melhor desempenho quanto a essa propriedade quando comparada aos valores estimados para uma mistura de concreto convencional.

A maior resistência, de um modo geral, pode ser justificada pela maior densidade de massa do concreto experimentado, resultando no menor teor de ar aprisionado.

Também de acordo com Pinheiro (2007), pode-se estimar o módulo de elasticidade inicial para misturas de concreto convencionais através da seguinte relação apresentada na equação 13.

$$E_{CI} = 5600f_{ck}^{1/2} \quad (\text{Equação 13})$$

onde:  $E_{CI}$ : módulo de elasticidade inicial;

$f_{ck}$ : resistência a compressão.

Desta forma, o módulo de elasticidade estimado para a resistência a compressão de 46,3 MPa seria de 38,10 GPa. A mistura experimentada, após 28 dias, apresentou o módulo de 40,93 GPa, 7,4% superior, o que é esperado já que a adição das fibras tende a reduzir a rigidez da mistura tornando o material mais dúctil. Também considera-se satisfatório o coeficiente de Poisson superior a 0,2.

Portanto, os valores encontrados evidenciam a melhoria no travamento das partículas dos agregados devido à forma (menos arredondada que a da areia) e rugosidade dos grãos e o teor de material pulverulento do resíduo de mármore.

As amostras analisadas também apresentaram absorção de água inferior à observada em concretos constituídos por areia natural como agregado miúdo. Este resultado já era esperado, com base nas conclusões de alguns estudos semelhantes apresentados no item 3.2. Os resíduos de mármore triturados são materiais inertes com baixa absorção de água e, por esse motivo, absorvem as partículas de água no estado fresco, aumentando a densidade de massa no estado endurecido.

É importante ressaltar que o consumo de cimento da nova mistura está estimado na ordem de 245,70 Kg/m<sup>3</sup>, inferior ao empregado usualmente e determinado por norma NBR 11709 (2010). Dessa maneira, além dos aspectos ecológicos envolvidos, essa redução também minimiza os custos de fabricação, tornando a mistura economicamente atrativa.

Os aspectos relacionados à durabilidade não foram incluídos no escopo de experimentos por conta da falta de equipamentos específicos para a realização dos

ensaios e também pela falta de um parâmetro normatizado, todavia, são de extrema importância. O fator água/cimento maior do que o exigido em norma, aliado ao baixo consumo de cimento, pode comprometer a porosidade do concreto e reduzir sua vida útil. No entanto, com base nos estudos apresentados no Capítulo 3, estima-se que essa desvantagem seja compensada pelo uso das fibras e pela menor incorporação de ar provocada pelo resíduo de mármore.

## 5. PLANEJAMENTO TECNOLÓGICO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com Cheng, *et al* (2007), “os modelos atuais de planos de negócio não abordam de forma satisfatória a integração das perspectivas tecnologia, produto e mercado ao planejamento de Empresas Nascentes de Base Tecnológica (ENBTs)”. Isto porque, em seus modelos mais usuais, esses planos podem subestimar o potencial mercadológico de determinada tecnologia ao longo do tempo.

O Estado da Arte referente aos planos de negócios tradicionais aponta que os mesmos apresentam natureza muito genérica, não se adequando integralmente a empreendimentos acadêmicos, sobretudo pela dificuldade em se dimensionar o alcance da tecnologia e também pela falta de *expertise* gerencial por parte de seus empreendedores (pesquisadores) (DRUMMOND, 2005).

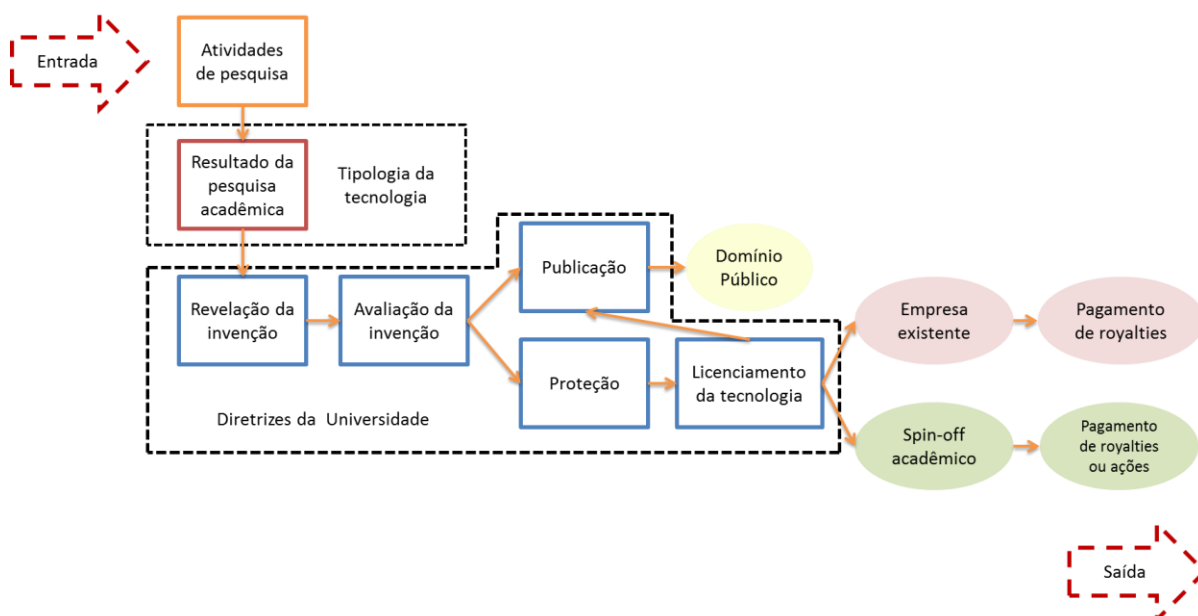
Essa demanda motivou o desenvolvimento de um novo modelo de plano de negócios, recentemente denominado plano de negócios estendido, ou modelo de negócios, constituído pela junção do planejamento tecnológico, que define a trajetória das tecnologias até produtos e serviços, com o plano de negócios propriamente, mais direcionado aos aspectos comerciais, financeiros e organizacionais, além de mais específico para empreendimentos dotados de incertezas e poucas informações de experiências anteriores (inovação radical).

Por conta da maior disponibilidade de tecnologias avançadas nos meios corporativos, os profissionais inseridos nesses ambientes são considerados mais aptos a realizar a transferência de resultados de pesquisas para o mercado. Os empreendimentos oriundos desse tipo de transferência são denominados, de forma



geral, *spin-off's* empresariais. E, quando a organização fonte de tal tecnologia se trata de uma empresa privada, os novos negócios são denominados *spin-off's* corporativos (DRUMMOND, 2005). A pesquisa básica, distante das aplicações mais práticas, ainda comumente verificada nos ambientes acadêmicos, é uma das responsáveis pela menor representatividade da criação de *spin-off's* acadêmicos.

De acordo com Leonel (2007), o conceito de transferência tecnológica associa-se a um conjunto de atividades desenvolvidas para a comercialização do resultado de uma pesquisa e promoção da cooperação universidade-empresa. Este processo pode ocorrer em diferentes níveis e formas de envolvimento, conforme ilustrado na Figura 19.



**Figura 19** – O processo de transferência da tecnologia acadêmica para o mercado.

Fonte: adaptado de Leonel (2005)

Atualmente, o ambiente acadêmico volta-se a pesquisas com aplicações mais práticas e não apenas no avanço da ciência e em publicações. Essa transformação ocorreu, num primeiro momento, por conta da incorporação da pesquisa ao ensino, no final do século XIX (ETZKOWITZ, 1998).

O recente incentivo ao empreendedorismo acadêmico no Brasil advém de meios como os fundos setoriais, a regulamentação de leis de incentivo a inovação e

a pesquisa científica (a exemplo da Lei 10973/ 2004), a criação de parques tecnológicos e incubadoras de empresas, projetos de extensão, entre outros. Apesar dessa tendência, os estágios de conscientização e pré-incubação, responsáveis por estruturar as ENBTs, ainda são realizados de forma precária e ineficiente.

Segundo Ndonzuau, Pirnay e Surlemont (2002), a criação de um *spin-off* acadêmico pode ser dividida em quatro etapas:

- Geração de idéia a partir de resultados de pesquisas;
- Finalização do projeto do novo negócio (planejamento tecnológico e plano de negócio);
- Lançamento do *spin-off*;
- Fortalecimento econômico da nova empresa.

O planejamento tecnológico, além de definir o processo de lançamento dos produtos ao longo do tempo, também tem o propósito de investigar as possibilidades de aplicação da tecnologia proposta no mercado. De acordo com Cheng, *et al* (2007):

Seu principal resultado esperado é o desenvolvimento das primeiras versões (protótipos) dos produtos, processos ou serviços de valor agregado. Esses possibilitam não apenas verificar se a produção pode ser estendida a uma escala industrial mais elevada, mas também mostrar para os potenciais consumidores e parceiros o potencial tecnológico das soluções, ou seja, quais problemas práticos essas soluções são capazes de solucionar.

O processo de planejamento tecnológico (onde o plano tecnológico se insere) é constituído essencialmente pela articulação TPM (Tecnologia-Produto-Mercado). O maior gargalo verificado na implementação desse trinômio, sob o ponto de vista das instituições de pesquisa, antes mesmo da pré-incubação de uma ENBT, encontra-se no *market-pull* (desenvolvimento direcionado ao mercado) e, principalmente no *technology-push* (como a tecnologia criada pode agregar valor a um produto).

Observada essa dificuldade, é importante destacar que a incorporação da tecnologia em produtos e processos invariavelmente acontece nas empresas. Essa

mesma tecnologia, quando restrita ao ambiente de pesquisa e não transferida às corporações, não se trata de uma inovação, mas de apenas uma invenção. Essa transferência, por sua vez, deve promover o benefício mútuo. No caso das universidades e institutos de pesquisa, na forma de compreensão das necessidades da sociedade com agilidade e, sob o ponto de vista das empresas, na forma de lucro, competitividade e soluções eficazes.

Nos últimos anos, no entanto, observa-se a inversão gradativa desse processo, onde a motivação de uma pesquisa parte de fontes externas aos laboratórios, em sua maioria oriunda de empresas privadas e que, principalmente no caso do Brasil, até então não investiam fortemente no desenvolvimento de novos produtos em unidades nacionais. No entanto, a interação tecnologia-produto-mercado, essência de um planejamento tecnológico, ainda é pouco estudada no país.

#### **5.1.1 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial e do impacto Ambiental e Social (EVTECIAS)**

Embora exista um grande número de modelos para a execução do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica, Comercial e do Impacto Ambiental e Social do projeto de um produto na literatura atual, optou-se por utilizar a estrutura exigida pelo Programa de Incentivo a Inovação (PII) nesta revisão. O PII trata-se de um programa desenvolvido através da parceria entre a Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SECTES) com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e as universidades de Minas Gerais, objetivando prospectar tecnologias que tenham potencial de transformarem-se em produtos ou processos inovadores, induzindo a criação de *spin-off's* acadêmicos ou licenciamentos e transferências (MARQUES, *et al*; 2010).

O modelo genérico é dividido em seis grandes tópicos: tecnologia, produtos e oportunidades de negócio; equipe empreendedora; mercado; negócio; projeções econômico-financeiras e de investimentos; e conclusões de viabilidade.

No primeiro tópico, a tecnologia é descrita na sua forma mais genérica, sem considerações sobre suas possíveis aplicações. Posteriormente, é classificada como

tecnologia aplicada ou tecnologia plataforma. No primeiro caso, uma aplicação específica é definida previamente, no segundo, é vislumbrada uma gama de aplicações possíveis. São então explicitados os produtos e serviços idealizados, bem como as motivações para tal.

A análise de mercado, não necessariamente posterior às duas supracitadas, pode ser considerada como o tópico mais determinante ao correto direcionamento dos esforços de projeto. Ela compreende a análise de aspectos regulatórios (legislação, regulamentação, certificações, registros e tendências desses aspectos); as informações do setor alvo, relacionada ao contexto mercadológico e suas tendências, dimensionamento do número de produtos vendidos por ano, questões sobre a segmentação do mercado (optando-se pela distinção comercial ou pela escolha de nichos) e público alvo; necessidades dos clientes e forças de mercado, mapeando-se os principais agentes e suas relações de força, concorrência, fornecedores, novos entrantes, complementadores e influenciadores.

A análise do negócio é iniciada pela correlação entre os aspectos mercadológicos citados no parágrafo anterior com as considerações sobre a tecnologia e o perfil da equipe. Através de uma análise SWOT, são levantadas e priorizadas as oportunidades e ameaças (fontes externas) e as forças e fraquezas (fontes internas), para posteriores ações estratégicas de potencialização das primeiras e minimização das segundas. Como resultado, é definida a estratégia de comercialização, compreendendo a explicitação do posicionamento no mercado, a estruturação de um modelo de negócio, os canais de distribuição e a precificação. Mais objetivamente, devem ser levantadas as barreiras técnicas, legais, ambientais, sanitárias e de *scale-up* (ampliação da escala laboratorial para a industrial) em relação aos produtos propostos.

As conclusões quanto à viabilidade do projeto devem, por fim, considerar seus aspectos ambientais; relevância social; viabilidade técnica, comercial e econômico-financeira.

### 5.1.2 O Planejamento Tecnológico de um produto de origem acadêmica

Devido à falta de um modelo padrão de planejamento tecnológico, faz-se necessário recorrer aos métodos e técnicas consagrados na Gestão do Desenvolvimento de Produtos (GDP) em grandes empresas. Sheng, et al. (2005), Drummond (2005) e Leonel (2007) foram os primeiros autores a propor um modelo de planejamento tecnológico baseado nesses métodos, estruturado em seis etapas e pontos de decisão, conforme esquematizado na Figura 20.

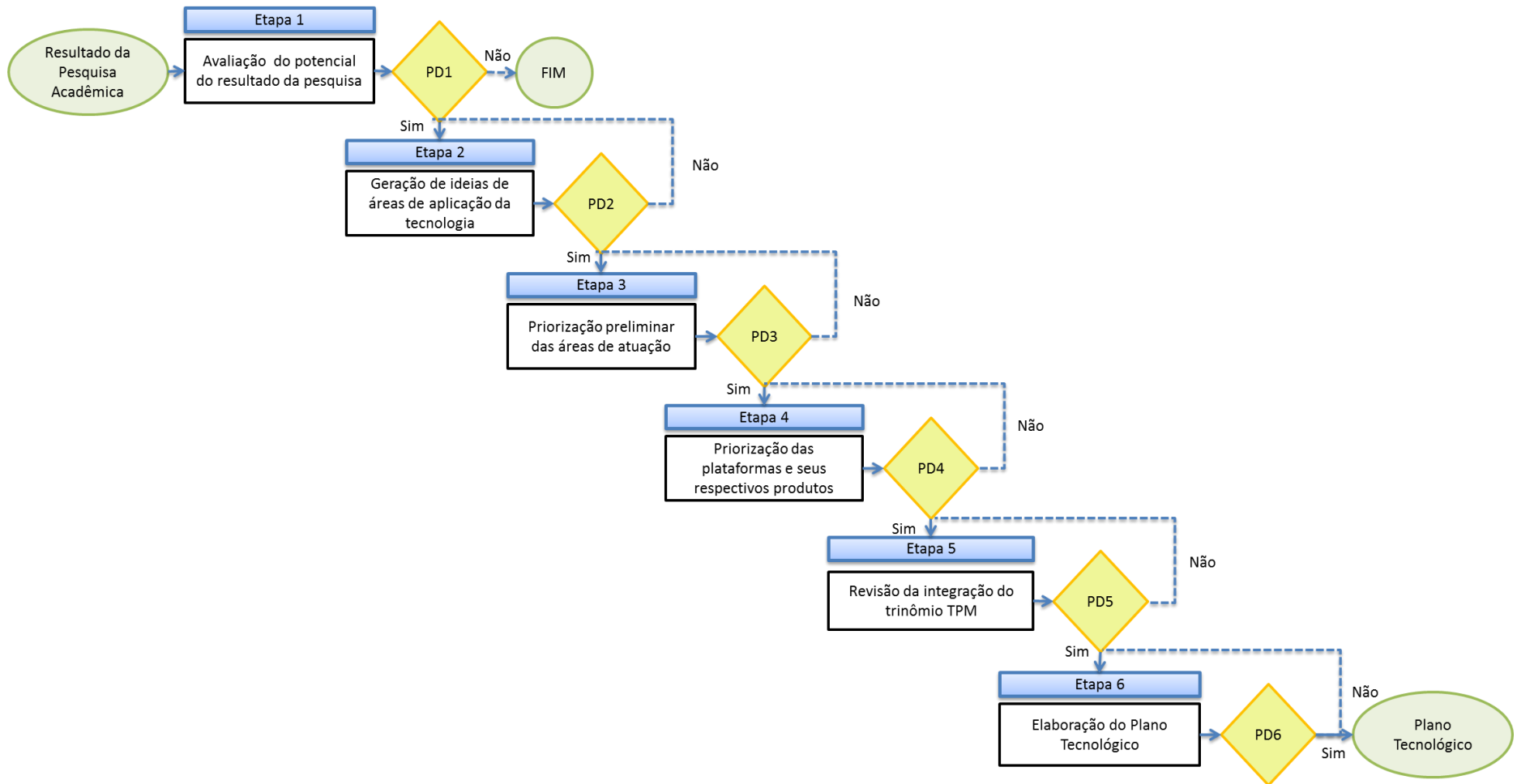
O principal objetivo da primeira etapa é avaliar o potencial dos resultados da pesquisa em gerar tecnologias e produtos atrativos ao mercado. Alinha-se a primeira etapa do TSG (*Technology Stage-Gate*) e pretende identificar possíveis barreiras que inviabilizem a absorção da tecnologia proposta. Recomenda-se a realização de entrevistas com os empreendedores envolvidos com o auxílio de questionários (dois exemplos podem ser encontrados integralmente nos anexos do trabalho de Drummond (2005)) relacionados à atratividade e competitividade da tecnologia, e cujos critérios são resumidos no Quadro 2. O questionário adaptado ao contexto desta pesquisa é apresentado no ANEXO I.

Confirmado o potencial da tecnologia proposta, inicia-se a segunda etapa do processo, onde é levantado o maior número possível de áreas de aplicação para a mesma. Essa etapa alinha-se também à segunda etapa do TSG, onde são identificados os possíveis produtos e processos que podem ser desenvolvidos a partir do que foi criado. Dentre as atividades destacam-se as entrevistas com especialistas, pesquisas sobre o mercado e produtos similares, levantamento das competências técnicas da equipe e dinâmicas de brainstorming.

A inserção das informações de mercado nesse momento começam a formar a arquitetura do mapeamento, quando algumas lacunas já podem ser visualizadas, principalmente as relacionadas à eficaz alocação de recursos e incertezas sobre o interesse das áreas identificadas. Por esse motivo, os questionamentos referentes ao segundo ponto de decisão são de grande importância.

**Quadro 2** - Critérios para avaliação do potencial mercadológico da tecnologia.  
Fonte: Drummond (2005)

Atratividade	Aspectos de mercado	Amplitude de aplicações da tecnologia
		Tamanho do mercado
		Existência de potenciais clientes e parceiros
		Facilidade de acesso ao primeiro cliente
		Potencial para substituição de importações
	Aspectos da concorrência	Potencial para a geração de vantagens competitivas
		Intensidade da concorrência nos mercados brasileiro e mundial
		Existência de competidores trabalhando em tecnologias similares
	Aspectos técnicos	Nível de maturidade
		Habilidade para transferência entre as escalas laboratorial e industrial
		Compatibilidade com os processos atuais dos potenciais clientes e parceiros
		Tempo necessário para finalização do desenvolvimento em laboratório
		Facilidade de realização de testes por possíveis clientes
	Aspectos financeiros	Volume de aporte financeiro necessário (para evolução até a escala industrial)
		Capacidade e velocidade de faturamento
		Preço médio cobrado por produtos similares
		Viabilidade de obtenção de financiamento junto aos órgãos de fomento
Aspectos sócio-políticos	Facilidade de acesso ao mercado (legislação e regulamentações)	
	Velocidade de registro e liberação dos produtos para comercialização	
Competitividade	Recursos tecnológicos	Competência para o desenvolvimento da tecnologia
		Importância dos laboratórios e equipamentos para a futura empresa
	Recursos complementares	Motivação da equipe para explorar uma tecnologia através de uma EBT
		Capacidade de acesso a financiamentos
		Presença de uma sólida rede de contatos
		Nível de inovação da tecnologia em relação às técnicas correntes no mercado



**Figura 20** – O processo de planejamento tecnológico de uma empresa de base tecnológica  
 Fonte: Adaptado de Drummond (2005)

Não é possível investir em todas as possíveis áreas de atuação levantadas. Dessa maneira, na terceira etapa do processo de planejamento tecnológico, são realizadas novas entrevistas com especialistas, pesquisas de mercado, análise da concorrência, estudos sobre a complexibilidade tecnológica do desenvolvimento dos produtos, além da definição dos critérios de priorização a serem utilizados. Essas atividades objetivam selecionar dentre as possibilidades aquelas que serão estudadas em profundidade.

Os critérios de priorização variam de acordo com o ambiente e o produto, porém, é importante considerar as questões ambientais e sociais, de grande apelo nos dias de hoje, além das estimativas de crescimento do setor envolvido e da economia de uma forma geral. Além dos especialistas técnicos, contribui para essas decisões a participação de empresários do ramo, mais voltados para o binômio produto-mercado do que os pesquisadores e empreendedores. Além disso, deve-se verificar a disponibilidade de laboratórios, pessoas e equipamentos para a execução dos novos estudos. As principais saídas dessa etapa são as plataformas de produtos selecionadas e informações sobre a sofisticação tecnológica de seus protótipos.

A quarta etapa é dedicada à seleção, dentro das plataformas priorizadas, dos produtos e das informações a serem pesquisados ao longo do tempo, observando os critérios pré-estabelecidos. Essa etapa correlaciona-se a segunda etapa do processo de desenvolvimento do produto (PDP) tradicional, já que é voltada ao planejamento do desenvolvimento dos protótipos em laboratório. Essa seleção deveria considerar, sobretudo, a sustentabilidade financeira do empreendimento, além de enriquecer o conhecimento da equipe, de forma a garantir o desenvolvimento de produtos subsequentes. Como principais atividades destacam-se a pesquisa mais específica do mercado, o estudo da sinergia entre as tecnologias de processo e de produto e das estratégias do negócio (foco tecnológico) e a estrutura gráfica de auxílio à decisão relacionada à análise de atratividade (do mercado e da tecnologia).

É importante observar que as lacunas apontadas nos pontos de decisão até então devem ser continuamente minimizadas com o decorrer das etapas. O acúmulo



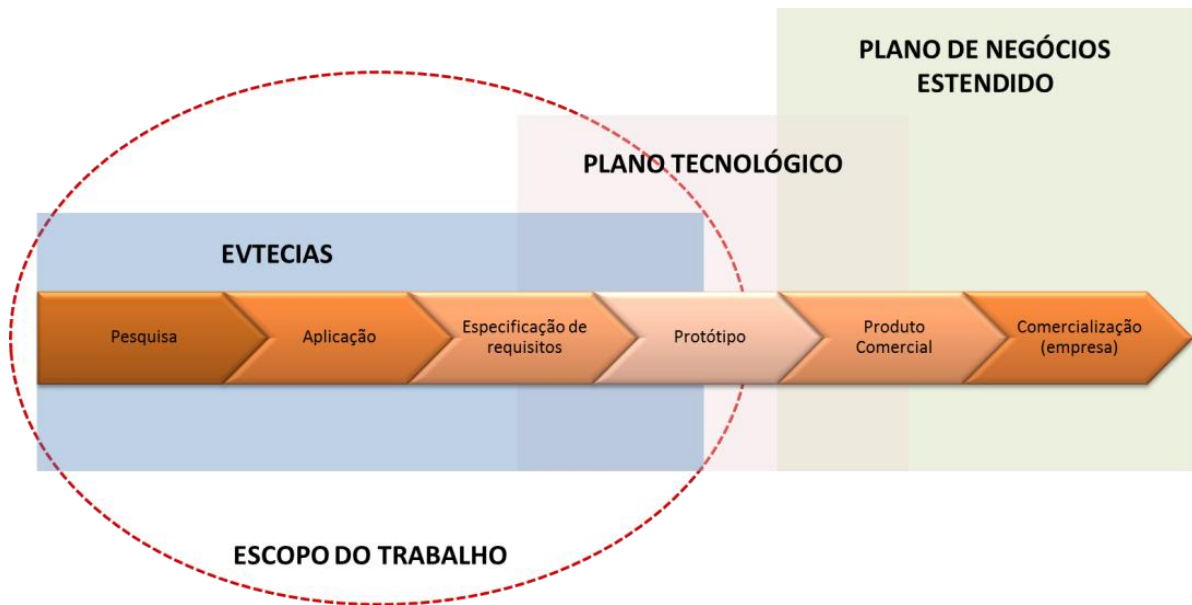
de incertezas pode culminar com a inviabilização do projeto nas etapas mais avançadas, gerando perdas de tempo e dinheiro desnecessárias. A integração do trinômio TPM deve ser continuamente revisada, antes do despendimento de tais esforços. Na quinta etapa, baseada nos segundo e terceiro estágios do PDP tradicional, essa avaliação pode afirmar a confiabilidade no retorno dos investimentos previsto.

Como atividades da quinta etapa destacam-se a definição do processo de construção e arquitetura do mapeamento (*roadmap*), planejamento da evolução das plataformas priorizadas entre as escalas laboratorial e industrial (a segunda através de um mapeamento gráfico do processo), definição de prazos e marcos, levantamento de informações do mercado quanto aos produtos priorizados e definição das projeções financeiras e investimentos.

Na arquitetura do *roadmap* considera-se o horizonte de tempo para o planejamento e as camadas a serem planejadas. Essas camadas podem se dividir em recursos (financeiros e humanos), tecnologia (matéria-prima, insumos, processos e embalagens), plataforma/produto, negócio, mercado e novas oportunidades, de acordo com Drummond (2005).

Nesse contexto, o quinto ponto de decisão destina-se a verificar a existência de informações consistentes para a elaboração do plano tecnológico em um documento formal, na etapa 6. Além da execução do planejamento em si, nessa etapa são preenchidas as lacunas identificadas ao longo do processo, de forma a viabilizar, também, o desenvolvimento de um futuro plano de negócios. A resolução dos *gaps* (lacunas) pode ser auxiliada pelo EVTECIAS (Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial e do Impacto Ambiental e Social), conforme já mencionado.

Esquemáticamente, os âmbitos do EVTECIAS, do Planejamento Tecnológico e do Plano de Negócios Estendido, além do escopo da abordagem proposta nesta pesquisa, são apresentados na Figura 21.

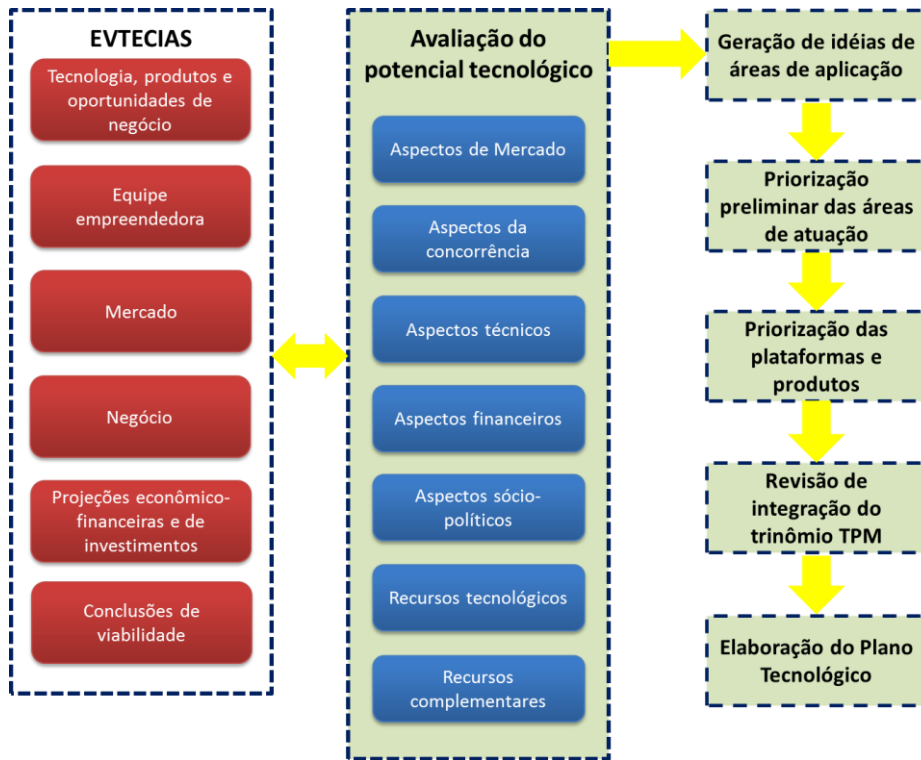


**Figura 21** – Os âmbitos do EVTECIAS, Plano Tecnológico e Plano de Negócios Estendido e escopo do trabalho

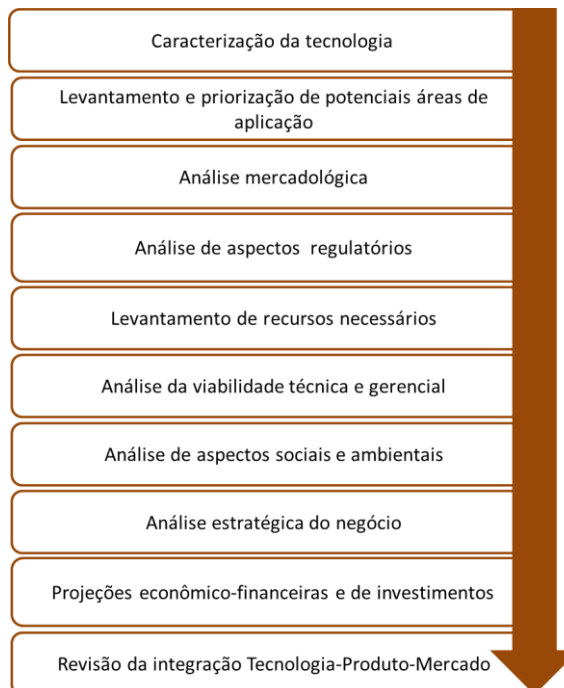
## 5.2 O PLANEJAMENTO TECNOLÓGICO DO ECODOR

No Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica, Comercial e do Impacto Ambiental e Social (EVTECIAS) encontram-se algumas etapas do processo de planejamento tecnológico proposto por Drummond (2005), sendo constituídas por análises muito semelhantes às encontradas na fase de avaliação do potencial tecnológico. Dessa forma, ambos podem, e devem, ser utilizados complementarmente, conforme ilustrado na Figura 22.

De modo a organizar de forma mais clara e específica as etapas de planejamento tecnológico do produto desenvolvido, propõe-se uma nova estrutura, baseada nas metodologias levantadas, apresentada esquematicamente na Figura 23.



**Figura 22** – Relações metodológicas entre EVTECIAS e Planejamento Tecnológico



**Figura 23** – Estrutura do Planejamento Tecnológico do Ecodor

### 5.2.1 Caracterização da tecnologia

No capítulo 4, os aspectos técnicos da tecnologia proposta foram apresentados e analisados em detalhe. A mistura experimentada configura uma invenção por ser composta por dois materiais que, juntos, ainda não haviam sido testados na fabricação do concreto.

O uso de resíduos do beneficiamento do mármore, embora antes experimentados na confecção de compósitos diversos, quando empregados juntamente a resíduos de fibra óptica como adição, apresenta resistência e módulo de elasticidade adequados que podem, por sua vez, ampliar as possibilidades de aplicação da mistura.

Outro fator importante é a sua motivação ecológica, em um primeiro momento, relacionada à reciclagem de resíduos e, em um segundo, pela economia de cimento identificada, alinhada, portanto, às preocupações quanto à sustentabilidade no desenvolvimento de produtos.

As inúmeras possibilidades de aplicação de uma mistura de concreto com as características avaliadas caracterizaria a tecnologia como plataforma. Porém, os ensaios priorizados orientaram-na a uma aplicação específica (dormentes de concreto), que por si só já possui uma grande variedade de formas de aplicação possíveis e, por esse motivo, optou-se pela tratativa de tecnologia aplicada, mais focada ao emprego específico, orientação esta adotada em todo o processo de planejamento tecnológico apresentado nos próximos itens.

O nível de maturidade atingido na pesquisa atende satisfatoriamente aos requisitos para dormentes biblocos, podendo, no entanto, ser estendida ao uso em outros tipos de dormentes, visto que os requisitos prescritos em norma para estes casos também são atendidos (resistência à compressão superior a 45 MPa).

O emprego de ambos os materiais (resíduo de mármore triturado e resíduo de fibra óptica) conjuntamente em uma mistura de concreto ainda não foi estudado em nenhum outro instituto de pesquisa, nacional ou estrangeiro. Todavia, estudos similares vêm sendo desenvolvidos com o uso exclusivo de fibras naturais, poliméricas e de vidro a exemplo dos realizados na UFRJ (TOLEDO FILHO, 2011),

USP (IZQUIERDO, 2011; COUTO, 2007; PERUZZI, 2002; LIMA, et al, 2009), UFRN (PEREIRA, 2009), UFRGS (CAUDURO, et al, 2005), UFCG (DA SILVA, et al, 2009) e UFPA (VENTURA, et al, 2006), além dos internacionais mencionados no item 3.3. Portanto, os produtos oriundos destas pesquisas podem ser apontados como concorrentes indiretos do produto desenvolvido.

No quadro 3 encontram-se relacionadas às patentes referentes a misturas cimentícias com o emprego de fibras naturais, poliméricas e de vidro (INPI, 2012).

**Quadro 3** – Patentes relacionadas (Concreto reforçado com fibras naturais, poliméricas e de vidro)  
Fonte: INPI (2012)

Processo	Depósito	Título
MU8502592-5	01/11/2005	Laje de concreto pré-moldada, térmica ou comum, de modelo e cor variada, polida ou natural, contendo concreto comum e celular, vidro, fibra de vidro, PVC, pedra e material de toda qualidade, tinta, isopor e ferro.
PI0502990-2	22/07/2005	Concreto de fibra cerâmica
MU8403220-0	28/12/2004	Concreto reforçado com polímeros, telas e/ou barra de fibra de vidro
PI0313982-4	04/08/2003	Materiais cimentícios reforçados com fibra de celulose e fibra não-celulósica, estrutura de concreto contendo-os e processo para a sua obtenção.
PI0205178-8	12/12/2002	Fio plano formado de um copolímero de polioximeleno e processo para sua produção, tecido trançado formado pelo fio plano, lamina recoberta por meio de um revestimento fundido de uma resina termoplástica sobre o tecido trançado, produto de lamina reforçado com solo, saco de grãos de cereais, saco de solo, tecido não entrelaçado, produto em forma de rede, revestimento de substrato acarpitado, fibra de reforço concreto e corda plástica.
PI0209196-8	24/04/2002	Método para a dosagem de fibras de reforço de um silo de mistura durante a fabricação de concreto de fibra e embalagem para a execução do método.
MU8001227-2	21/06/2000	Concreto com fibra de vidro ou plástico reforçado com fibra de vidro.
PI9805010-9	24/11/1998	Mistura para produzir peças moldadas a partir de concreto reforçado com fibra de vidro, processo para produzir peças moldadas pelo processo de injeção e equipamento para produzir peças moldadas de concreto reforçado com fibra de vidro.
MU7802631-8	03/09/1998	Concreto armado com fibra plástica.
PI9811291-0	16/07/1998	"Fibra de reforço de concreto".
PI9200517-9	13/02/1992	"Sistema anti-sísmico de moradias pré-fabricadas em concreto e fibra de casca de arroz mineralizada".
MU6501459-6	26/09/1985	Módulo de concreto revestido com fibra de vidro com polimento.
PI9612607-8	29/11/1996	"Sistema de produção e moldagem para peças de matriz cimentícia reforçada com fibra de vidro, a três dimensões".

No quadro 4 são listadas as patentes relacionadas aos materiais e processos de fabricação para dormentes de concreto.

**Quadro 4 – Patentes relacionadas (Dormentes de concreto)**

Fonte: INPI (2012)(continua)

<b>Processo</b>	<b>Depósito</b>	<b>Título</b>
MU8902452-4	26/11/2009	Dormente de borracha
PI0905837-0	26/09/2009	Dormente de travessa, arranjo de uma travessa de via férrea e um dormente de travessa e processo para fabricação de um dormente de travessa.
PI0900485-8	23/01/2009	Processo para obtenção de dormente ferroviário a partir de polímero reciclado com alma em madeira
PI0805146-1	12/11/2008	Dormente para ferrovia
C10403092-3	22/08/2008	Dormente em concreto plástico
PI0807741-0	03/01/2008	Dormente de concreto e processo para a sua produção
PI0702954-3	09/07/2007	Dormente ferroviário em compósitos
PI0614054-8	14/07/2006	Dormente de ferrovia inteiramente revestido e método de fabricação do mesmo.
PI0602723-7	10/05/2006	Dormente polimérico obtido com plástico, fibras naturais e elemento estrutural.
PI0601365-1	03/04/2006	Célula de produção de dormente de material reciclado aplicado na estrutura de trilhos de linhas férreas, e produto resultante.
PI0609513-5	10/03/2006	Dormente ferroviário e via férrea.
PI0518986-1	25/11/2005	Dormente de concreto para altas cargas dinâmicas e métodos para fabricá-lo.
MU8502972-6	28/09/2005	Dormente multilaminar.
MU8501341-2	21/06/2005	Dormente multipartido flexível.
PI0502017-4	06/06/2005	Dormente de concreto protendido para remodelação de vias férreas de modo contínuo ou intercalado a dormentes de madeira.
PI0502483-8	27/05/2005	Dormente de pneus protendido.
PI0501724-6	23/05/2005	Dormente de pneu reciclado.
PI0403092-3	20/07/2004	Dormente em concreto plástico.
MU8302601-0	29/10/2003	Dormente de concreto com núcleo vazado.
PI0207976-3	05/03/2002	Dormente ferroviário novo e aperfeiçoado e método para sua fabricação.
PI9915281-9	12/11/1999	Dormente de estrada de ferro composto.
PI9905077-3	08/10/1999	Dormente ecológico para assentamento de trilhos.
PI9801102-2	17/04/1998	Dormente articulado de concreto armado para grade ferroviária.
PI9711376-0	28/08/1997	Material de construção compósito, e dormente ferroviário de compósito plástico.
PI9302076-7	26/05/1993	Dormente e via guia para um veículo ferroviário.
PI8901679-3	10/04/1989	Aperfeiçoamento em dormente bi-bloco de concreto.
PI8501041-3	08/03/1985	Conjunto de dormente de concreto e elemento de fixação de trilhos e processo para produção das reentrâncias em dormentes.

(conclusão)

PI7807906-3	30/11/1978	Dormente em concreto armado, vibrado e protendido e para equipamento ferroviário
PI7803569-4	02/06/1978	Processo para a fabricação de dormentes de cimento armado, barra de armadura para o processo, chapa metálica e dormente obtido de acordo com o processo.
PI7800360-1	20/01/1977	Dormente para estrada de ferro.

Quanto às patentes relacionadas aos concretos reforçados com fibras, evidencia-se que 46% das mesmas foram registradas pelos próprios inventores, sem associação direta com um instituto de pesquisa ou empresa. Das demais patentes, outros 46% são de titularidade de empresas estrangeiras e apenas 6% de empresas brasileiras.

Já para o caso dos dormentes, o cenário é um pouco diferente. A maioria das patentes, cerca de 59%, tem como titular os próprios inventores. As demais totalizam 10,25% de empresas brasileiras e 30,76% de empresas estrangeiras (sendo apenas 2 oriundas de parcerias com institutos de pesquisa).

Ambos cenários são positivos para a presente pesquisa, visto que as empresas brasileiras não apresentariam resistência à adoção do produto proposto, já que as mesmas conformam a minoria na titularidade das tecnologias potencialmente concorrentes.

### 5.2.2 Levantamento e priorização de áreas de aplicação

O mercado consumidor de concreto é muito extenso e diversificado. No entanto, em função do nível de solicitação e exposição desse material, alguns setores demandam características mais rigorosas que outros. Como verificado no Capítulo 2, os componentes de uma via permanente formam um tipo de pavimento muito distinto dos de outras modalidades de transporte. Os excessivos carregamentos dinâmicos e estáticos, aliados a aspectos que vão desde as características específicas do solo, configurações geométricas, até os de manutenção e intemperismo, exigem que diferentes propriedades mecânicas de trilhos, dormentes e lastros devam apresentar o melhor desempenho possível.

Ainda que projetos mais específicos demandem misturas com desempenho superior à experimentada, com base nos resultados obtidos, evidenciou-se a oportunidade de aplicação da mesma em produtos voltados ao setor ferroviário, mais especificamente a dormentes. O atendimento às especificações referentes a dormentes de concreto constitui uma oportunidade de negócio atrativa em um setor que passa por um crescimento acelerado, conforme demonstrado no capítulo introdutório. Uma vez atendidas essas especificações, o emprego da mesma mistura para finalidades com exigências inferiores, também oferece numerosas possibilidades.

Com base nos argumentos apresentados, a aplicação principal identificada foi a do emprego da mistura na fabricação de dormentes biblocos. Os requisitos normativos da NBR 11709 (2010) são integralmente atendidos, sem a necessidade de alterações adicionais na mistura e nas dimensões do dormente. Ainda que não fosse o objetivo inicial da experimentação técnica, evidenciou-se também o atendimento das especificações para dormentes monoblocos.

Diante do grande leque de possibilidades de aplicação além da pavimentação ferroviária, algumas destas são apresentadas na Tabela 9, apenas como complemento, bem como alguns dos critérios adotados para a priorização. As pontuações para o atendimento às especificações foram baseadas nos requisitos normativos, no que diz respeito exclusivamente às propriedades do concreto experimentadas.

Como verificado, para algumas aplicações levantadas, as características conhecidas da mistura atendem as especificações normativas, fazendo-se necessários experimentos de avaliação para outros parâmetros, o que foge do escopo da pesquisa. Já para os casos de lajes pré-moldadas, blocos para pavimentos intertravados, algumas obras de arte, postes, mourões, telhas e estacas pré-moldadas, não são necessários ensaios adicionais, tornando-se viável a realização de futuros planejamentos voltados à análise de viabilidade econômica, financeira, comercial, ambiental e social desses produtos, além da experimentação de protótipos.



**Tabela 9** – Matriz de priorização das aplicações para a mistura.

	Mistura atende às especificações	Tamanho do mercado	Estimativas de crescimento do mercado	Nível de concorrência	Nível de sofisticação tecnológica	Apelo social	Interesse da equipe	Total
Dormentes	10	10	10	10	10	10	10	70
Lajes pré-moldadas	5	10	10	5	10	10	10	60
Blocos para pavimentos intertravados	5	10	10	5	10	5	10	55
Blocos vazados de concreto simples (alvenaria) / Muros de arrimo	5	10	5	5	10	10	10	55
Paredes moldadas	5	5	10	10	5	10	10	55
Obras hidráulicas e de saneamento	0	10	5	5	5	10	5	40
Pontes, túneis, viadutos e obras de arte em geral	5	10	10	5	0	5	5	40
Aduelas	0	10	5	5	5	5	5	35
Postes	10	10	5	5	10	10	5	55
Mourões	10	5	5	5	10	5	5	45
Telhas	10	10	10	5	10	10	5	60
Estacas pré-moldadas	5	5	5	5	10	5	5	40
10 – favorável 5 – parcialmente favorável 0 - desfavorável								

### 5.2.3 Aspectos regulatórios

No Capítulo 2, foram mencionados os requisitos presentes na única norma brasileira destinada a dormentes de concreto, NBR 11709 (ABNT,2010). Algumas características do concreto proposto não atendem a esses critérios, como o consumo de cimento inferior a 350 Kg, a relação água/cimento superior a 0,38, além dos materiais especificados (areia natural quartzosa ou artificial e pedra britada). Esse inconveniente é comum quando se trata do desenvolvimento de produtos à base de materiais alternativos. As normas brasileiras estão em sua quase totalidade orientadas a requisitos prescritivos, sem propriamente considerar os critérios de desempenho. Dessa maneira, assim como para inúmeros outros casos, um produto viável sob todos os aspectos (ambiental, social, econômico e financeiro) não pode ser comercializado pela falta de uma norma própria que os respalde.

Considerando os recentes e necessários estudos voltados ao desenvolvimento de dormentes com materiais alternativos, sobretudo financiados

por grandes empresas, esse cenário pode mudar em pouco tempo, quer seja pela criação de uma norma exclusiva para cada novo produto (a exemplo da NBR 15116 para o uso de reciclados na pavimentação), quer seja através de uma norma geral que estabeleça parâmetros de desempenho físico e mecânico, independentemente dos materiais adotados (como a NBR 15575, para desempenho em edificações).

O Projeto de Lei 2416, de 2011, visa proibir a utilização de madeira da flora nativa na fabricação de postes, cruzetas e dormentes ferroviários. Essa iniciativa reforça a necessidade da criação e regulamentação de dormentes alternativos. No projeto, alguns destes são mencionados, a exemplo dos de eucalipto, concreto e de plástico.

#### **5.2.4 Análise mercadológica**

Devido aos projetos planejados e em andamento dos Programas de Aceleração do Crescimento I e II voltados ao setor ferroviário, muitos fabricantes de dormentes de concreto já se encontram estabelecidos próximos às regiões de obras, outros muitos pretendem se estabelecer nos próximos anos. Algumas dessas regiões, no entanto, caracterizam-se pela escassez de materiais fundamentais à fabricação desses produtos, principalmente de agregados.

De acordo com a Revista Ferroviária (2010), há 16 fábricas de dormentes no país, constituindo 26 unidades de produção. Destas, 12 estão concentradas na região Sudeste. Juntas, produzem anualmente em torno de 6,1 milhões de unidades, volume suficiente para a construção de 3485 km de ferrovias de bitola métrica ou 3297 km de bitola larga. O Quadro 5 apresenta a lista de fabricantes, material, localização e capacidade produtiva.

É importante ressaltar que algumas dessas fábricas, no entanto, possuem unidades temporárias para atender as demandas de projetos específicos, o que dificulta a contabilização do número exato de fabricantes em todo o país. É assertivo afirmar que esse número vem crescendo paralelamente ao aumento de investimentos na construção e reformas de ferrovias.

**Quadro 5** – Fabricantes de dormentes no Brasil  
 Fonte: Durço (2011), atualizada pela autora

Fábrica	Unidades	Material	Capacidade Produtiva
Ceima Industrialização de Madeiras	BA	Eucalipto	N/I
Cogumelo Indústria e Comércio	RJ, SP	Plástico	N/I
Companhia Brasileira de Dormentes Dorbrás	RJ, MG, RS, CE, PE	Concreto	60.000
Conprem Concreto Premoldado	MT, GO, MG, PR, CE, PI, Chile	Concreto	44.000
Duron Usina de Tratamento de Madeiras	SC	Eucalipto	N/I
EMPAC - Empresa de Artefatos de Concreto	MG, PE	Concreto	N/I
Fábrica de Dormentes da Odebrecht	PE	Concreto	125.000
Hidremec Indústria de Materiais Ferroviários	ES	Aço	84.000
Icotema Madeiras Tratadas e Concreto	SP	Eucalipto	N/I
Longhi Engenharia Ltda	SP	Concreto	7.000
Postes Mariani Indústria e Comércio	RS	Eucalipto	N/I
Precon Industrial	MG, RJ	Concreto	40.000
Prema Tecnologia e Comércio	SP	Eucalipto	80.000
Serraria Mohr	SP, MS	Eucalipto	50.000
SPA - Engenharia Indústria e Comércio	MA, GO	Concreto	48.000
Wisewood	SP	Plástico	2.500

Um grande número de fabricantes de dormentes de concreto situa-se próximo à cidade de Juiz de Fora, onde a pesquisa é desenvolvida. Entre estes, destacam-se:

- A Companhia Brasileira de Dormentes Dorbrás: com sua principal unidade de fabricação situada em Resende – RJ, a 184 km de Juiz de Fora
- A empresa Conprem (Concreto Premoldado Ltda.), com uma de suas unidades situada na cidade de Campanha – MG, a 171 km de Juiz de Fora
- A empresa EMPAC (Empresa de Artefatos de Concreto Ltda.), com uma de suas unidades situada em Tocantins – MG, a 90 km de Juiz de Fora
- A empresa PRECON, localizada em Pedro Leopoldo – MG, a 305 km de Juiz de Fora.

Como verificado, geograficamente, o objeto de pesquisa situa-se em uma região estratégica e possui uma quantidade substancial de clientes potenciais, caso opte-se pela transferência da tecnologia para uma empresa já estabelecida.

Outra alternativa trata-se da criação de uma ENBT (Empresa Nascente de Base Tecnológica). Como o produto em questão demanda uma infraestrutura de médio a grande porte, é inviável a incubação da unidade produtiva da empresa em um Parque Tecnológico (como o que vem sendo construído pela UFJF) ou no Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia (CRITT). Ainda assim, essas instituições podem facilitar o desenvolvimento de parcerias entre o grupo de pesquisa e fabricantes de dormentes ou até mesmo concessionárias interessadas em viabilizar testes em campo e a fabricação própria em menor escala para testes, através de um núcleo de pesquisa.

Além da parceria com o Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia (CRITT) sugerida, é fundamental a articulação com as indústrias fornecedoras dos resíduos utilizados. Para a viabilização dos experimentos em laboratório, a pesquisa contou com a contribuição de uma empresa localizada na cidade de Mar de Espanha-MG, a 58 km de Juiz de Fora, para o fornecimento dos resíduos de mármore, e de um instituto de pesquisa localizado na cidade de Campinas-SP, fornecedor dos resíduos de fibra óptica. Além da provisão dos materiais, esses fornecedores disponibilizaram todas as informações técnicas fundamentais para a correta manipulação dos mesmos.

Para a produção dos produtos originários da mistura em larga escala, deve-se considerar a possível necessidade de mais fornecedores para os mesmos materiais. O estado do Espírito Santo, em especial a cidade de Cachoeiro de Itapemirim, possui uma larga cartela de potenciais fornecedores de resíduos de mármore. A reciclagem de seus resíduos, como verificado no Capítulo 3, ainda se encontra restrita ao âmbito científico, e pouco explorada comercialmente. Dessa maneira, uma alternativa de destinação para esse material, pode se configurar um fator de atratividade importante.

Quanto aos resíduos de fibra óptica, o cenário é muito diferente. O material utilizado nos experimentos realizados é oriundo de outro projeto de pesquisa, dotado de características distintas as dos disponíveis no mercado. Dessa maneira, a fonte desta matéria-prima é única, o que limitaria consideravelmente a capacidade de produção dos produtos finais. Há poucos fabricantes de produtos similares no país,

o que determina que boa parte da demanda seja suprida através de importações. Dos existentes, a grande maioria concentra-se no estado de São Paulo, mais especificamente na cidade de Campinas, pioneira e polo tecnológico na área desde 1971.

Observada essa restrição, seria válida a realização de novos experimentos com uso de resíduos de fibra óptica já comercializados, tanto os utilizados para a transmissão de dados, como também com os mais consagrados destinados a telecomunicação de uma forma geral. De qualquer forma, sob as condições atuais, a viabilidade da inserção da mistura no mercado, da maneira como foi experimentada, está sujeita ao sucesso da nova fibra em processo de desenvolvimento e principalmente, a absorção dessa tecnologia por fabricantes nacionais.

As principais vantagens competitivas voltam-se aos benefícios econômicos e ambientais. Os produtos resultantes serão constituídos por cerca de 30% de resíduos, o que, conforme melhor detalhado mais adiante, reduz consideravelmente seus custos de execução. As vantagens ambientais configuram o maior chamariz comercial da tecnologia, visto que produtos que apresentam soluções para problemas ambientais no setor da construção civil ganham a cada dia mais aceitação e visibilidade pelo mercado e por órgãos regulamentares.

#### **5.2.5 Recursos necessários**

Avaliadas algumas das propriedades mecânicas da mistura de concreto (para o caso do concreto, integralmente de acordo com a NBR 11709), encerra-se a análise de viabilidade técnica da mistura que, por si só, já se trata de uma tecnologia inovadora. Uma próxima etapa, também de cunho técnico, é a confecção de protótipos dos produtos cujas aplicações foram sugeridas no item 5.2.1.

Como optou-se pela análise exclusiva do dormente de concreto, esses protótipos devem ser confeccionados de acordo com as opções de dimensão apresentadas na mesma norma e posteriormente submetidos aos ensaios de homologação descritos nos Quadros 6 e 7, cujo procedimento é melhor detalhado na NBR 11709 (2010).

**Quadro 6** – Ensaio em protótipos de dormentes monoblocos. (NBR 11709 (2010))

Ensaio de homologação	Protótipo		Apoio do trilho	
	1	2	A	B
Ensaio de carga vertical no apoio do trilho				
Ensaio de momento negativo no centro do dormente				
Ensaio de momento positivo no centro do dormente				
Ensaio de carga vertical no apoio do trilho				
Ensaio de carga repetida no apoio do trilho				
Ensaio de aderência, ancoragem e carga de ruína				
Ensaio dos insertos das fixações				

**Quadro 7** – Ensaio em protótipos de dormentes biblocos. (NBR 11709 (2010))

Ensaio de homologação	Protótipo		Apoio do trilho	
	1	2	A	B
Ensaio de carga vertical no apoio do trilho				
Ensaio de momento negativo no centro do dormente				
Ensaio de carga repetida no apoio do trilho				
Ensaio de sobrecarga e carga de ruína				
Ensaio de momento positivo no centro do dormente				
Ensaio dos insertos das fixações				

A execução desses protótipos demanda fôrmas específicas não disponíveis nos laboratórios de engenharia da UFJF. Dessa forma, os testes estão sujeitos a aquisição desse material ou confecção através da parceria com um fabricante. Os laboratórios possuem infraestrutura e equipamentos para a realização de todos os ensaios, mediante algumas adaptações, exceto o de insertos das fixações que podem, também, ser executados a princípio pela mesma empresa parceira.

Quanto aos recursos exigidos à produção efetiva dos dormentes para comercialização, não foi identificada a necessidade de alterações em processos produtivos de dormentes convencionais. Portanto, a fabricação dos produtos com a mistura sugerida a princípio não demanda esforços e gastos adicionais. Da mesma maneira, a infraestrutura exigida, bem como o tempo de projeto e produção e o sistema de controle de qualidade adotado para o caso da criação de uma fábrica exclusivamente dedicada ao ECODOR, segue os moldes das demais do mesmo ramo de atuação.

### **5.2.6 Análise de viabilidade técnica e gerencial**

A equipe dedicada à execução das atividades técnicas da pesquisa foi composta por um engenheiro civil; uma engenheira de produção; um bolsista de desenvolvimento tecnológico e inovação (BDTI/CNPq) graduando em engenharia civil; coordenados e orientados por uma professora doutora e engenheira civil.

Ainda assim, os resultados experimentais refletem as incertezas inerentes a pesquisas acadêmicas ou de qualquer projeto de P&D. A falta de recursos, até esta etapa para o desenvolvimento de pesquisas em protótipos do produto priorizado e *in loco*, pode implicar na variabilidade do desempenho e dos custos, avaliados apenas para a mistura de concreto.

Dois membros da equipe possuíam a expertise necessária à formalização da inovação por conta de uma participação anterior no Programa de Incentivo a Inovação (PII) da UFJF. Dessa forma, as etapas iniciais de planejamento tecnológico não apresentaram dificuldades. O embasamento teórico relacionado a esse planejamento partiu da pesquisa e experiências anteriores.

A transferência da tecnologia para uma empresa fabricante, por sua vez, demanda uma tratativa gerencial e técnica especial. Os experimentos foram realizados sob condições ambientais controladas, o que pode implicar em variações na produção em larga escala caso as mesmas não sejam reproduzidas corretamente. Os aspectos gerenciais preferencialmente devem seguir a metodologia de desenvolvimento de produto adotada na pesquisa, aliada, por sua vez, ao procedimento usual da futura fabricante.

### **5.2.7 Aspectos sociais e ambientais**

Os pontos ambientais positivos da tecnologia, já suficientemente explanados, tratam-se do uso de resíduos industriais em novos produtos, minimizando todos os inconvenientes causados pela disposição, correta ou não, de resíduos sólidos (de acordo com o Capítulo 3). Além disso, alguns estudos mencionados apontam a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa

na atmosfera com o uso de dormentes de concreto, em substituição aos de madeira e plástico (SALLES, 2009; CRAWFORD, 2009).

Como pontos ambientalmente negativos, pode-se mencionar o transporte dos materiais alternativos. Esses materiais são oriundos de fontes cuja atividade principal não é a produção dos mesmos, diferentemente do caso da areia de rio ou artificial. Dessa forma, o número de fornecedores pode ser reduzido e não necessariamente próximo a seus clientes secundários (os de resíduos) como o de fornecedores de materiais convencionais, demandando o frete a distâncias maiores e, na maioria dos casos, rodoviário (grande emissor de gases poluentes). Outro ponto negativo a ser considerado são os resíduos oriundos do próprio processo de fabricação da mistura e de seus produtos, com propriedades distintas as do RCD (resíduos da construção e demolição) convencionais, ainda não conhecidas.

Quanto aos aspectos sociais, os pontos positivos relacionam-se, além da geração de emprego na indústria e no transporte, ao desenvolvimento do empreendedorismo inovador na região, podendo futuramente agregar mais profissionais em pesquisas afins ou na de novos tipos de tecnologia em prol da solução de problemas da sociedade, a exemplo dos vetores nocivos gerados pela disposição de entulhos em terrenos ou “bota-foras”. Outro aspecto importante trata-se da conscientização dos fabricantes e dos clientes promovida por tal iniciativa quanto ao reuso e reciclagem de uma forma geral.

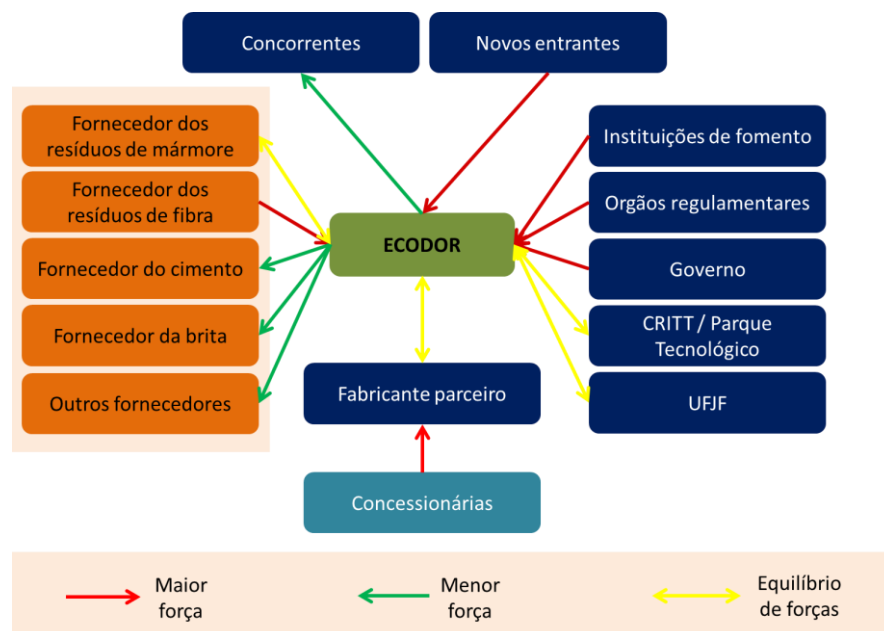
Dentre os aspectos negativos, o mais agravante corresponde às implicações à saúde causadas pela manipulação frequente do pó residual do mármore sem equipamentos de proteção. Segundo estudos realizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT), há atualmente no Brasil cerca de quatro milhões de profissionais da construção civil que correm o risco de adquirir doenças como a silicose, fibrose, pneumonia química, entre outros, devido a esse tipo de exposição (COSTA, 2002). Outra desvantagem pode ser evidenciada pela redução, embora mínima, do número de empregos formais e informais relacionados às atividades de recolhimento e disposição desses tipos de resíduos.



Como iniciativas de minimização dos impactos podem ser mencionadas a utilização de transportes alternativos ao rodoviário, menos poluentes, a exemplo do ferroviário e hidroviário ou a instalação de fábricas geograficamente próximas às fontes de materiais; novos experimentos para a investigação do uso dos resíduos da mistura e do produto como agregados graúdos do concreto, inclusive dos utilizados na própria mistura proposta; o uso de máscaras de segurança pelos trabalhadores expostos ao contato com o pó residual do mármore e; a compensação dos empregos perdidos pela redução da coleta e tratamento de resíduos por meio de oportunidades de trabalho ligadas à fabricação dos novos produtos.

### 5.2.8 Análise estratégica

Para o caso da viabilização comercial dos dormentes de concreto a partir da mistura desenvolvida, alguns agentes podem representar forças e ameaças igualmente ou mais significativas do que os próprios parceiros e clientes. Por conta disso, um esquema representando o sistema de valores (baseado nas “Cinco Forças de Porter”) e o tipo de relações entre os *players* envolvidos é apresentado na Figura 24, para posterior análise através de uma matriz SWOT.



**Figura 24** – Sistema de Valores e Relação de Forças do ECODOR

Algumas políticas do Governo podem representar uma ameaça à inserção do ECODOR (nome comercial do dormente ecológico) no mercado. As licitações para a fabricação, fornecimento e instalação de dormentes de concreto nos mais recentes projetos de construção e reforma de ferrovias exigem experiência do fabricante na área. Por conta disso, apenas grandes empresas, posicionadas no mercado por muitos anos, vêm sendo contempladas. Sob esse contexto, a aceitação do novo produto nessas condições se encontra submetida à absorção da tecnologia por parte dessas empresas ou, pela reconsideração dos critérios estabelecidos nesses processos. Essa reconsideração pode vir a fortalecer outras políticas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, configurando uma força de mercado importante ao mesmo tempo. As mesmas empresas, por sua vez, quando não dispostas a usufruir da nova tecnologia, são identificadas como fortes concorrentes, ainda que ofereçam orçamentos superiores a aquelas que a utilizarem, assim como as fabricantes de outros tipos de dormentes alternativos, já mencionadas.

Já para os fabricantes das fibras, os resíduos provenientes destes (caso a fibra desenvolvida pelo instituto de pesquisa se consolide em um produto comercializável), não apresentarão mais o volume de falhas que provocam o descarte atualmente, podendo ser reaproveitadas também em reparos de cabeamentos. Dessa forma, a obtenção do material pode ser dificultada pelo consumo dos resíduos pelo próprio gerador ou por empresas de manutenção.

De modo a simplificar e organizar os impactos das relações identificadas para fins de planejamento estratégico do negócio idealizado, as forças e fraquezas, oportunidade e ameaças, são apresentadas na matriz SWOT do Quadro 8.

**Quadro 8 – Matriz SWOT – ECODOR**

<p><b>Forças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo atrativo</li> <li>• Desempenho mecânico satisfatório (da mistura)</li> <li>• Conhecimento técnico e gerencial da equipe envolvida</li> </ul>	<p><b>Fraquezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de recursos para testes em protótipos do produto</li> <li>• Fornecedor de fibras exclusivo</li> <li>• Dificuldade no estabelecimento de marcos temporários para as próximas etapas</li> </ul>
<p><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apelo sustentável (ambiental e social)</li> <li>• Cenário político e econômico do setor</li> <li>• Leis de incentivo à inovação</li> <li>• Localização de parceiros e clientes favorável</li> <li>• Baixo número de pesquisas voltadas a dormentes ecológicos</li> <li>• Elevado custo de novos entrantes</li> <li>• Vastas possibilidades de fomento técnico e financeiro</li> <li>• Solução para a reutilização de resíduos industriais</li> </ul>	<p><b>Ameaças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande número de pesquisas voltadas a misturas de concreto ecológicas</li> <li>• Normalização altamente prescritiva e pouco relacionada a critérios de desempenho</li> <li>• Política protecionista em licitações de grandes projetos ferroviários</li> <li>• Desinteresse na mistura por parte dos fabricantes</li> <li>• Alto custo de transporte dos materiais</li> <li>• Dependência de laboratórios da UFJF</li> </ul>

### 5.2.9 Projeções econômico-financeiras e investimentos

Até o ano de 2014, está prevista a construção de 4696 km de ferrovias destinadas ao transporte de cargas no país (sem considerar os projetos previstos no Programa de Investimentos em Logística, ainda não suficientemente detalhados). Não é possível estimar com precisão o percentual desse montante já construído, mas, com base nos status apresentados no último relatório do PAC II, esse valor é menor do que 10%.

Dessa maneira, apenas para construir o restante planejado nos próximos dois anos, serão necessários mais de 7,8 milhões de dormentes de concreto (1850 dormentes por quilômetro). A capacidade máxima de produção atual de todas as fabricantes somadas totaliza em torno de 5 milhões. No entanto, metade dessas empresas não é exclusivamente dedicada à fabricação desse produto. Por esse motivo, a demanda por dormentes nos próximos dois anos será bastante superior à projetada para as obras do PAC II. Com base na proporção atual entre a produção dedicada às obras do governo e a produção voltada a outras finalidades, a demanda até 2014 calculada para o primeiro caso pode ser acrescida em, no mínimo, 40%. Neste caso, totalizando quase 11 milhões de dormentes, 5,5 milhões por ano ou 8% a mais do que a produção atual.

A partir de 2014, ainda que a tendência de crescimento se confirme através de meta de 35% de participação na matriz de transportes planejada até o ano de 2025, apenas se encontram previstos mais 4976 km, incluindo o Trem de Alta Velocidade (TAV). Esse investimento, convertido em número de dormentes, foi dividido pelos quatro anos seguintes, até o de 2018, quando o próximo mandato de gestão do governo se encerrará, com o acréscimo de 8% de substituição sobre os Km já construídos, para manutenção de ferrovias antigas, sem considerar novos projetos.

**Tabela 10** – Demanda de dormentes estimada até 2018

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Demanda de dormentes estimada	5473188	5473188	7209228	7209228	7209228	7209228

O volume de concreto necessário para a fabricação de um dormente de concreto monobloco para bitola de 1,60 m é de 0,1575 m<sup>3</sup> (VALEC, 2012; DORBRÁS, 2012). Com base no traço da mistura adotado e nas densidades de cada material, um quilo de cimento resulta em 0,00260 m<sup>3</sup> do concreto desenvolvido. Dessa maneira, o consumo de materiais para a fabricação de um dormente é apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11** – Consumo de materiais para a fabricação de um dormente

<b>Material</b>	<b>Consumo</b>
Cimento CPV ARI	58,55 Kg
Resíduo de Mármore	107,15 Kg
Rocha de Gnaisse Britada	165,69 Kg
Fibras	0,41 Kg

Com base nesse consumo, o custo da fabricação da mistura, sem considerar os desmoldantes e os materiais para a protensão (cujo consumo não varia em relação ao dormente tradicional), para a fabricação de 1000 dormentes, se encontra relacionado a seguir.

No cenário 1, apresentado na Tabela 12, foi considerada a compra da matéria-prima por fornecedores da cidade onde se instala a fabricante, o que desconsideraria praticamente os custos de frete (cenário otimista).

**Tabela 12** – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 1)

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Rejeito de mármore (ton)	107,15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1170	R\$ 22,50	R\$ 26.325,00
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 11.432,61
Fibra (Kg)	410	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete do rejeito de mármore (km)	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete da fibra (km)	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 37.757,61</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 37,76</b>

No cenário 2, apresentado na Tabela 13, foi adotada a localização do fabricante em Resende – RJ (como um dos fabricantes anteriormente mencionados), o fornecedor de resíduos de mármore na cidade de Cachoeiro de Itapemirim – ES (onde se encontram as maiores mineradoras de mármore do país) e o fornecedor de resíduos de fibra na cidade de Campinas – SP (pólo tecnológico na fabricação de fibras ópticas), para os cálculos de frete, com base nos valores médios cobrados por algumas transportadoras.

**Tabela 13** – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 2)

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Rejeito de mármore (ton)	107,15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1170	R\$ 22,50	R\$ 26.325,00
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 11.432,61
Fibra (Kg)	410	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete do rejeito de mármore (km)	495	R\$ 117,75	R\$ 12616, 91
Frete da fibra (km)	331	R\$ 88,91	R\$ 36,45
<b>Total</b>			<b>R\$ 50.410,57</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 50,41</b>

No cenário 3, apresentado na Tabela 14, a localização dos fornecedores foi mantida alterando-se apenas a localização dos fabricante, neste caso, para Campanha – MG.

**Tabela 14** – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 3)

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Rejeito de mármore (ton)	107,15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1170	R\$ 22,50	R\$ 26.325,00
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 11.432,61
Fibra (Kg)	410	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete do rejeito de mármore (km)	637	R\$ 146,58	R\$ 15.706,05
Frete da fibra (km)	279	R\$ 79,31	R\$ 32,51
<b>Total</b>			<b>R\$ 53.496,17</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 53,50</b>

No cenário 4, apresentado na Tabela 15, foi analisada a localização do fabricante na cidade de Tocantins – MG.

**Tabela 15** – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 4)

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Rejeito de mármore (ton)	107,15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1170	R\$ 22,50	R\$ 26.325,00
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 11.432,61
Fibra (Kg)	410	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete do rejeito de mármore (km)	327	R\$ 88,91	R\$ 9.526,70
Frete da fibra (km)	614	R\$ 146,58	R\$ 60,09
<b>Total</b>			<b>R\$ 47.344,40</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 47,34</b>

No cenário 5, apresentado na Tabela 16, novamente foi alterada a localização do fabricante, neste caso para Pedro Leopoldo – MG.

**Tabela 16 – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário 5)**

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Rejeito de mármore (ton)	107,15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1170	R\$ 22,50	R\$ 26.325,00
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 11.432,61
Fibra (Kg)	410	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete do rejeito de mármore (km)	481	R\$ 117,75	R\$ 12.616,91
Frete da fibra (km)	616	R\$ 146,58	R\$ 60,10
<b>Total</b>			<b>R\$ 50.434,62</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 50,43</b>

Após análise dos valores obtidos em todos os cenários, verificou-se que os cenários 1 e 4 apresentaram os custos unitários mais atrativos. No entanto, no primeiro caso, sua viabilidade está condicionada a instalação de todos os fornecedores na cidade do fabricante, o que, principalmente no caso do fornecedor de resíduos de fibra, seria impraticável em curto prazo. Dessa forma, a alternativa mais viável atualmente seria a fabricação do produto na cidade de Tocantins – MG, a 614 km de Campinas e 327 km de Cachoeiro de Itapemirim, ao custo unitário da mistura de R\$ 47,34.

O mesmo traço do concreto, porém com o uso de materiais convencionais, geraria o custo de fabricação apresentado na Tabela 17.

**Tabela 17 – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Concreto convencional)**

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Areia de rio (m <sup>3</sup> )	79,37	R\$ 64,00	R\$ 5079,70
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1521	R\$ 22,50	R\$ 34.222,50
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 10.438,47
<b>Total</b>			<b>R\$ 49.740,67</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 49,79</b>

Em uma primeira análise, o emprego da nova mistura só seria financeiramente viável quando comparada ao concreto tradicional se adotados os Cenários 1 e 4 (produção na fábrica de Tocantins – MG). O último cenário pode ainda melhorar se considerado o fato de que o fornecimento do resíduo de mármore

(responsável pelo maior custo de frete) pode ser realizado por fornecedores mais próximos ao fabricante. A cidade de Ubá-MG, a apenas 16 km de Tocantins – MG, possui 7 indústrias de beneficiamento de mármore. Neste caso, a tabela de custos do Cenário 4 pode ser adaptada com os valores apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18** – Custo de insumos para a fabricação de 1000 dormentes (Cenário Ideal)

<b>Insumos (produção de 1000 dormentes)</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Rejeito de mármore (ton)	107,15	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Cimento CPV ARI (saco de 50 Kg)	1170	R\$ 22,50	R\$ 26.325,00
Brita #1 (ton)	165,69	R\$ 69,00	R\$ 11.432,61
Fibra (Kg)	410	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete do rejeito de mármore (km)	16	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Frete da fibra (km)	614	R\$ 146,58	R\$ 60,09
<b>Total</b>			<b>R\$ 37.817,70</b>
<b>Custo unitário</b>			<b>R\$ 37,82</b>

Embora apenas com a alteração feita acima, o produto já se torne financeiramente viável, o seu custo unitário pode ser ainda mais reduzido caso o tipo de frete adotado para o transporte das fibras seja também substituído. Para a quantidade do material calculada, o transporte pode ser realizado através de um caminhão menor do que o orçado, ou até mesmo por um veículo próprio.

Também é importante considerar que o dormente proposto (330 kg) possui o peso 8% inferior ao dormente tradicional (357 kg), o que proporciona uma grande economia no transporte dos produtos acabados.

O plano de vendas, faturamento, cálculo de alíquotas de impostos, custos e despesas, são imensuráveis para o escopo da pesquisa, visto que esses valores variam de acordo com as políticas já existentes adotadas por cada fabricante.

O Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) possui como prioridade estratégica o incentivo na área de inovação. Dentre as linhas de financiamento destinadas a grandes empresas podem-se destacar os projetos de investimentos em inovação. Nessa linha são financiáveis, entre outros, os seguintes itens (BNDES, 2012):

- Aquisição, transferência e absorção de tecnologia que gere ganho permanente para o beneficiário e o capacite para novos



desenvolvimentos, desde que: não seja caracterizada como modernização, não crie relação de dependência com o fornecedor e não seja proveniente de empresas que integrem o mesmo grupo econômico do beneficiário;

- Despesas com mão-de-obra direta relacionada ao Plano de Investimentos em Inovação;
- Pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços;
- Contratação de ensaios, testes, certificações, dentre outros, no país e no exterior, relacionados ao PII;
- Despesas, no país e no exterior, relativas à propriedade industrial;
- Despesas com assuntos regulatórios relacionados ao PII;
- Despesas necessárias à introdução da inovação no mercado, incluindo os investimentos fabris;
- Gastos com captura, processamento e difusão do conhecimento relacionado ao processo de P&D;
- Parques tecnológicos.

Nesse contexto, a principal oportunidade de fomento à transferência da tecnologia desenvolvida a uma fabricante de dormentes pode ser representada pelo incentivo do BNDES à parceria entre a UFJF e tal fabricante por meio da criação de um núcleo de pesquisa dentro do Parque Tecnológico em processo de concepção na cidade de Juiz de Fora. Nesse núcleo, a presente pesquisa pode ser continuada e aprimorada, através do Programa de Incentivo à Inovação, e sua transferência à fabricante viabilizada financeiramente.

#### **5.2.10 Integração Tecnologia – Produto - Mercado**

O processo de planejamento buscou, em todas as etapas, a integração do trinômio Tecnologia – Produto – Mercado. A análise mais voltada às questões de viabilidade direcionou-o fortemente ao método TRM, mais estratégico que operacional, condizente com as informações obtidas e objetivos. Essa análise, embora não voltada ao desenvolvimento de uma Empresa Nascente de Base

Tecnológica, se utilizou das ferramentas disponíveis na literatura e empregadas na gestão de desenvolvimento de produtos de forma a articular, dentro das limitações comuns a um projeto de pesquisa, as perspectivas de *technology-push* e *market-pull*, consciente, no entanto, das diferenças existentes entre ambos os contextos (ENBT e projeto de pesquisa).

Embora verificado que a tecnologia desenvolvida (mistura de concreto ecológica) possui um grande número de possibilidades de aplicação em produtos do setor construtivo, e que, por sua vez, o produto priorizado apresenta uma fatia de mercado consistente e em acelerada ascensão, a análise da integração do trinômio TPM ainda apresenta lacunas (*gaps*) pouco exploradas.

A análise da integração Tecnologia – Produto depende ainda de experimentos técnicos mais específicos, no caso do produto priorizado, relacionados às propriedades mecânicas dos dormentes nas dimensões reais e protendidos (protótipos funcionais), preferencialmente *in loco*. Os ensaios sobre o concreto endurecido e as análises de viabilidade complementares, evidenciaram o potencial para o desenvolvimento de dormentes em acordo com as exigências normativas e vantajosos financeira, ambiental, comercial e socialmente, em escala industrial. No entanto, a equipe envolvida na pesquisa da mistura não possui, sem a parceria com um fabricante, conhecimentos técnicos suficientes para tais experimentações.

Já a integração Produto-Mercado apresentou aspectos mais vantajosos. A fabricação dos dormentes com o uso da nova mistura não demanda grandes investimentos adicionais em estruturas fabris já existentes. Além disso, o contexto político no que se refere a mudanças em requisitos ambientais aliado ao crescimento emergente do setor ferroviário, contribui para a absorção e aceitação rápida do produto.

## **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Ao longo da última década, a área de gerenciamento de resíduos sólidos vem ganhando cada vez mais notoriedade e atenção, no Brasil e no exterior. Muitos

avanços já podem ser observados no que diz respeito à coleta, classificação, separação e destinação desses materiais. Essas iniciativas permitiram que os potenciais de reciclagem e reaproveitamento fossem melhor enxergados, em um primeiro momento, através do artesanato e de práticas isoladas e, logo depois, por meio de atividades maiores, promovidas por grandes empresas e por setores inteiros, a exemplo da construção civil.

Nessa direção, foi introduzido nas empresas o conceito de *Ecodesign*, comercialmente muito atraente, mas ainda pouco claro sob o ponto de vista técnico. A intenção de vender um produto com o selo sustentável, ou verde, induz, em alguns casos, escolhas iguais ou piores que as tradicionais quando considerado todo o ciclo de vida de um produto. Paralelamente a essa vertente, instituições de pesquisa produzem volumosas quantidades de estudos com a finalidade de preencher, ainda que não prioritariamente, essas lacunas técnicas.

Especificamente no caso da construção civil, o acúmulo de resíduos da construção e demolição em áreas impróprias ou escassas e a demanda crescente por materiais, configura, no contexto econômico atual, um problema também social. E, por esse motivo, o desenvolvimento de técnicas e produtos verdadeiramente sustentáveis e ecológicos é tão importante nas pesquisas acadêmicas quanto propriamente no mercado.

As recentes políticas de incentivo a inovação, sob esse contexto, representam o elo que faltava para que os resultados destas pesquisas pudessem efetivamente oferecer vantagens competitivas mais consistentes às empresas e à sociedade.

A mistura de concreto, objeto da presente pesquisa, apresentou-se como uma tecnologia inovadora, cujos fatores ambientais e sociais que integram o conceito de desenvolvimento sustentável foram suficientemente explorados e atendidos. O potencial de transferência de tal tecnologia a um produto (binômio Tecnologia – Produto), no caso, a um dormente de concreto, e as análises da viabilidade da inserção deste produto no mercado (binômio Produto – Mercado) também apresentaram resultados positivos, em todos os aspectos explorados.

## 6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- As políticas governamentais de incentivo ao crescimento econômico do país, generalistas (como no caso do Programa de Aceleração do Crescimento) e setoriais (como o Plano Nacional de Viação Ferroviária e a Política Nacional de Transportes), aliadas a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ao Projeto de lei 2.416 (2011) e aos diversos programas e Lei 10.973 de incentivo à inovação formam, conjuntamente, um ambiente favorável à absorção da tecnologia proposta pelo mercado.
- Embora não tenham sido atendidas todas as especificações para o preparo do concreto prescritas na NBR 11709 (2010), o desempenho mecânico exigido, bem como propriedades adicionais, apresentaram resultados semelhantes ou até mesmo superiores ao observado em misturas tradicionais. Isso evidencia a necessidade de revisão da sistemática adotada na elaboração das normas técnicas brasileiras que, de uma forma geral, restringe a inovação através da prescrição de materiais convencionais em detrimento a critérios específicos de desempenho.
- Além da viabilidade técnica comprovada, a tecnologia e o seu produto resultante possuem mercado expressivo, inclusive ascendente; custos atrativos e boas opções de fomento; e importantes vantagens ambientais e sociais ao longo de todo o seu ciclo de vida.
- Embora as conclusões obtidas até o momento tenham sido satisfatórias, faz-se necessário o desenvolvimento de novos estudos voltados à avaliação das características funcionais do dormente, através de protótipos em laboratório e testes *in-situ*.

### 6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De forma a ampliar os conhecimentos a respeito do uso de resíduos industriais e da construção como adições e agregados na fabricação do concreto (empregado em dormentes ou em outros produtos), sugere-se a realização de novos estudos, tais como:

- Avaliação das propriedades mecânicas do concreto composto por resíduos de mármore como agregado miúdo, resíduos da construção e demolição como agregado graúdo e as mesmas fibras adotadas no presente estudo.
- Mantendo-se constantes as condições do método do ensaio, verificar a reprodutibilidade e repetibilidade dos resultados com a adição de outros tipos de resíduos de fibras ópticas já fabricadas e comercializadas no país.
- Experimentação com os mesmos materiais, porém, com novos traços.
- Análise da viabilidade técnica do emprego da mistura em outros produtos, segundo as normas específicas.
- Continuidade da pesquisa, através do desenvolvimento dos protótipos, simulações, estudos de campo e acompanhamento do processo de transferência da tecnologia para o fabricante.
- Desenvolvimento de uma metodologia para o planejamento tecnológico e processo de desenvolvimento de produtos ecológicos.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Aço-carbono e microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural**, NBR 7007. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: Especificação**, NBR 7480. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **Agregado miúdo: Determinação da absorção de água**, NM 30. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente**, NM 52. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Agregados : Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, NM 45. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **Agregados : Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**, NM 46. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **Agregados para concreto: Especificação**, NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**, NBR 15116. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Agregados: Determinação da composição granulométrica**, NM 248. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **Agregados: Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**, NBR 7218. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **Argamassa e concreto endurecido: Determinação da absorção da água por capilaridade - Método de ensaio**, NBR 9779. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**, NBR 9778. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **Argamassa e concreto: Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland**, NM 137. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **Concreto de cimento Portland: Preparo, controle e recebimento - Procedimento**, NBR 12655. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **Concreto para fins estruturais: Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**, NBR 8953. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**, NBR 12142. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**, NBR 8522. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**, NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **Controle tecnológico de materiais componentes do concreto:** Procedimento, NBR 12654. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido:** Especificação, NBR 7483. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Dormentes de concreto:** Projeto, materiais e componentes, NBR 11709. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos:** Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, NBR 15575. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **Fios de aço para estruturas de concreto protendido:** Especificação, NBR 7482. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado,** NBR 9062. Rio de Janeiro, 2006.

ABIFER. A indústria metroferroviária brasileira – investimentos e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE FERROVIAS: Mobilização da Indústria para o Desenvolvimento do Setor Ferroviário, 7, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FIESP, mai. 2010. 45 p.

\_\_\_\_\_. Trem de Alta Velocidade: a participação da indústria brasileira e a necessidade de mão de obra especializada. In: SEMINÁRIO TAV BRASIL, 1, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABIFER, abr. 2011. 69 p.

ACI. **State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete,** ACI 544.1R-96. Farmington Hills, 2002. 66 p.

ALL. **Licenciamento Ambiental.** Disponível em: < [http://www.mzweb.com.br/all/web/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=27040&conta=45&img=27039&son=27040](http://www.mzweb.com.br/all/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=27040&conta=45&img=27039&son=27040)>. Acesso em: mar. 2012.

ANP TRILHOS. **Investimento do PAC 2 nas ferrovias é insuficiente, avaliam especialistas.** Disponível em: <<http://www.anptrilhos.org.br/index.php/noticias/551-investimento-do-pac-2-nas-ferrovias-e-insuficiente-avaliam-especialistas>>. Acesso em: mar. 2012.

ANTF. A Importância das Ferrovias para o Futuro do País. In: BRASIL NOS TRILHOS, 4, 2010, Brasília. **Anais...** Brasília: Ministério dos Transportes, ago. 2010. 49 p.

\_\_\_\_\_. Balanço do transporte ferroviário de cargas 2011. 2012, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTF. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em abr. 2012.

\_\_\_\_\_. O rumo e os números do setor de transporte ferroviário. In: REUNIÃO DA CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DA SOJA, 12, 2011, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTF, mar. 2011. 65 p.

\_\_\_\_\_. **Investimentos com obras da ferrovia representam quase R\$ 3 bilhões em Mato Grosso.** Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php/noticias/2043-investimentos-com-obras-da-ferrovia-representam-quase-r-3-bilhoes-em-mato-grosso>>. Acesso em: jun. 2012.

ANTT. **Edital de Concessão nº 001/2010.** Brasília: ANTT, 2010. 57 p.

\_\_\_\_\_. **Relatório Anual 2010.** Relatório. Brasília, 2010.

AREMA. **Manual for Railway Engineering:** Ties. Maryland, 2009. V.1.

BARBOSA, M. T. G.; COURA, G.V.G.; MENDES, L.O. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído**, 8, 4, 51 - 60, 2008.

BARBOSA, M. T. G.; et al. Concreto Ecológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53, 2011, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: IBRACON, nov. 2011. 12 p.

BARBOSA, M.T.G.. Utilização do resíduo de mármore, como agregado miúdo, para a fabricação de concreto. **Relatório Final FAPEMIG**. 2009.

BARROTE, L.G. Utilização de rejeitos (cacos) de mármore em massas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, mai./jun. 2000.

BASTOS, P.S.S. **Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço**. 1999. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

BIJEN, J. Improved Mechanical Properties of Glass Fibre Reinforced Cement by Polymer Modification. **Cement & Concrete Composites**, 12, 95-101, 1990.

BNDES. **Grande Empresa**. Disponível em: < [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Navegacao\\_Suplementar/Perfil/Grande\\_Empresa/#link2](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Navegacao_Suplementar/Perfil/Grande_Empresa/#link2)>. Acesso em: mar. 2012.

BRASIL. **Lei n. 10.973**, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em fev. 2012.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 10.973**, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em fev. 2012.

\_\_\_\_\_. **Programa de Investimentos em Logística: Rodovias e ferrovias**. Blog do Planalto Disponível em < <http://blog.planalto.gov.br>>. Acesso em ago. 2012.

\_\_\_\_\_. **Banco de Informações e Mapas de Transportes - BIT**. Ministério dos Transportes. Disponível em: < <http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em: out. 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. **Transnordestina será caminho de desenvolvimento, diz presidenta**. Blog do Planalto. Disponível em: < <http://blog.planalto.gov.br/transnordestina-sera-caminho-de-desenvolvimento-diz-presidenta-em-visita-as-obras/>>. Acesso em: mar. 2012.

\_\_\_\_\_. PAC 2. **Relatório PAC Transportes**. Brasília, 2011. Relatório.

\_\_\_\_\_. **Presidenta destaca que investimentos em ferrovias no PAC 2 somam R\$ 46 bilhões**. Blog do Planalto. Disponível em: <<http://blog.planalto.gov.br>>. Acesso em: mar. 2012.

\_\_\_\_\_. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento de Auditoria**. Brasília, 2010. Relatório.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2011. Relatório.

\_\_\_\_\_. **O PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes e a Importância das Ferrovias para o Futuro do País**. in: BRASIL NOS TRILHOS, 4, 2010, Brasília. **Anais...** Brasília: Ministério dos Transportes, ago. 2010. 40 p.



\_\_\_\_\_. **Superintendência de Serviços de Transporte de Cargas e Gerência de Transporte Ferroviário de Cargas**. Relatório. Brasília, 2011.

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1979. 485p. 2v. (V.1 – Via Permanente, 269p.)

BRITO, A. **Ferrovia Norte-Sul abre nova fronteira agrícola**. Jornal Folha de São Paulo. Disponível em: < <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi0607200820.htm/>>. Acesso em: fev. 2012.

CÁCIO JUNIOR. **Ministério Público Federal denuncia corrupção na Valec**. Jornal Opção. Disponível em: < <http://www.jornalopcao.com.br/posts/reportagens/ministerio-publico-federal-denuncia-corrupcao-na-valec>>. Acesso em: mar. 2012.

CAUDURO, L.B, et al. Avaliação do desempenho estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com fibras de vidro. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17, 2005, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2005.

CENDEV/UFV. **Modelo EVTECIAS**. Modelo de estudo de viabilidade do Programa de Incentivo a Inovação. Disponível em: < <http://www.centev.ufv.br/incubadora/interna.php?area=apresentacao&ididioma=1&sis=2> >. Acesso em: mar. 2012.

CEPEFER. **MRS Logística investe R\$ 90 milhões em equipamentos de via**. Blog Oficial do CEPEFER. Disponível em: < <http://cepefer.blogspot.com.br/>>. Acesso em: mar. 2012.

CHENG, L.C.; et al. Plano tecnológico: um processo para auxiliar o desenvolvimento de produtos de empresas de base tecnológica de origem acadêmica. **Locus Científico**, Brasília, 1, 2, 32-40, 2007.

COMPANHIA BRASILEIRA DE DORMENTES DORBRÁS. **Dormentes de concreto para vias férreas convencionais com lastro**. Disponível em: < <http://dorbras.com.br/?produtos/dormentes-de-concreto/> >. Fev. 2012.

COOPER, R.G.; EDGETT, S.J.; KLEINSCHMIDT. Optimizing the Stage-Gate Process. What Best Practice Companies are doing. **Research-Technology Management**, 45, 21-27, 2002.

CORINALDESI, V; MORICONI, G; NAIK, T.R. Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. In: **Construction and Building Materials**. 24, 2010, 113-117.

COSTA, V.R. Morte Anunciada. **Ciência Hoje**, 32, 189, 52-54, 2002.

COUTO, I.A. **Análise teórica e experimental do comportamento da aderência entre o concreto e barras de fibra de vidro impregnada por polímero**. 2007. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

CRAWFORD, R.H. Greenhouse Gas Emissions Embodied in Reinforced Concrete and Timber Railway Sleepers. **Environmental Science & Technology**, Washington, 43, 10, 3885-3890, 2009.

DA SILVA, I.F.; et al. Análise comparativa de compósitos a base de PEBD com e sem aplicação de fibra de sisal. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília, 24, 2, 118-121, 2009.

DAVE, U.; DESAI, Y.M. Interaction between temperature and sulfates: effects on polypropylene. In: DHIR, R.K; et al. **Harnessing fibres for concrete construction**. 1. Scotland: IHS BRE, 2008b. 353-364.

DAVE, U.V.; DESAI, Y.M. Effects of polypropylene, polyester and glass fibres on strength of concrete. In: DHIR, R.K; et al. **Harnessing fibres for concrete construction**. 1. Scotland: IHS BRE , 2008a. 45-54.

DAVID, R.K.; et al. Implantação de dormentes ambientalmente corretos: responsabilidade social e ambiental. In: CONCURSO DE MONOGRAFIA CBTU, 2, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBTU.

DRUMMOND, P. H. F. **O planejamento tecnológico de uma empresa de base tecnológica de origem acadêmica por intermédio dos métodos Technology Roadmapping (TRM), Technology Stage-Gate (TSG) e Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) tradicional**. 2005. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UFMG, Belo Horizonte.

DURÇO, F. F. **A regulação do setor ferroviário brasileiro: monopólio natural, concorrência e risco moral**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Escola de Economia - FGV, São Paulo.

EMPAC. **Dormentes**. Disponível em: < <http://www.empac.com.br/> >. Acesso em: mar. 2012.

ETZKOWITZ, H. The entrepreneurial university and the emergence of the democratic corporatism. In H. Etzkowitz (Org.). **The norms of entrepreneurial science: cognitive effects of the new university-industry linkages**. 1. Research Policy.1998. 823-833.

FARIA, B.S. **Utilização de materiais reciclados na fabricação de dormentes ferroviários**. Rio de Janeiro, 19 p. Trabalho não publicado.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/260 - São Paulo : EPUSP, 2000. 68 p.

FREIRE, W.J. Materiais Alternativos de Construção. In: FREIRE, W.J.; BERALDO, A.L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. 1. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

FREITAS, A. M. **A produção de pisos de borracha e sua utilização em cruzamentos rodoferroviários**. 2010. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – UFJF, Juiz de Fora.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto : um novo material para dosagens estruturais**. 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

HADI, M. N. S. An Investigation of the Behaviour of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Slabs. In: DHIR, R.K; et al. **Harnessing fibres for concrete construction**. 1. Scotland: IHS BRE, 2008. 233-244.

HARRISON, J. Nachhaltigkeit in der Zement- und Betonindustrie: Teil 1. **ZKG International**, Glenorchy, 59, 11, 83-86, 2006.

HARRISON, J. Nachhaltigkeit in der Zement- und Betonindustrie: Teil 2. **ZKG International**, Glenorchy, 60, 2, 1-6, 2007.

INPI. **Base Patentes**. Disponível em: < <http://pesquisa.inpi.gov.br/MarcaPatente/jsp/servimg/validamagic.jsp?BasePesquisa=Patentes> >. Acesso em: mar. 2012.

IOPPI, V. Cimento ecológico: cinzas volantes ativadas por solução composta de resíduos de tijolos refratários dolomíticos e hidróxido de sódio. In: Fundação Odebrecht. **Prêmio**

**Odebrecht: contribuições da engenharia para o desenvolvimento sustentável: livro comemorativo.** 1. Salvador: Fundação Odebrecht, 2009.

IZQUIERDO, I.S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil.** 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Poli-USP, São Paulo.

KAEWUNRUEN, S.; REMENNIKOV, A. M.; MURRAY, M.H. Limit states design of railway concrete sleepers. **Institution of Civil Engineers Journal**, Londres, 165, mar. 2012. 81-85. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1680/tran.9.00050>>. Acesso em: fev. 2012.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – UFRGS, Porto Alegre.

LEMONS, I. **Trem-bala prevê sete estações obrigatórias.** G1 Brasil. Disponível em: < <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/07/trem-bala-preve-sete-estacoes-obrigatorias.html>>. Acesso em: fev. 2012.

LEONEL, S. G. **Um estudo do processo de planejamento tecnológico de uma empresa nascente: alinhando tecnologia, produto e mercado com foco na necessidade do cliente.** 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UFMG, Belo Horizonte.

LIMA, A. P.; ROSSITO, A. B. **Via Permanente.** 1 v. São Paulo: CPTM, 2010. 128 p.

LIMA, P. R. L.; et al. Caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos reforçados com fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 11, 6, nov. / dez. 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-4366200700060001>>. Acesso em: fev. 2012.

LISBÔA, E.M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFAL, Maceió.

MAGLEV COBRA. **Como funciona.** Disponível em: < <http://www.maglevcobra.com.br/about/como-funciona/>>. Acesso em: mar. 2012.

MARQUES, C.A.N.; et al. Modelo de estudo de viabilidade aplicado ao processo de desenvolvimento de novos produtos. In: EMEPRO, 5, 2010, Coronel Fabriciano. **Anais...** Juiz de Fora: FMEPRO.

MARZOLA, G. **Alternativas viáveis para substituição da madeira como dormente ferroviário.** 2004. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo.

MCDONALD, B.M.; BURKE, M.A.; MONCARZ, P.D. The Effects of Natural Aging on a Polymer Modified Glass Fiber Reinforced Concrete. In: Biennial Congress of the Glassfibre Reinforced Cement Association, 8, 1991, Maastricht. **Anais...** The Netherlands: Glassfibre Reinforced Cement Association, 125-134.

MNAHONCAKOVÁ, E.; et al. Mechanical, thermal and hygric properties of glass fibre reinforced cement composites. In: DHIR, R.K; et al. **Harnessing fibres for concrete construction.** 1. Scotland: IHS BRE, 2008. 267-278.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, F. J. N. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha.** *Cerâmica*, 49, 262-267, 2003.

MORENO, H. Linha Ecológica de Cabos Pirelli. O foco ambientalista da construção civil. In: Seminário Materiais & Design – Interface no Desenvolvimento do Produto. **Anais...** São Carlos, 1998 FIESP, UFSCAR, SEBRAE. 1998. p 174 – 182

MOTTA, D. **Cimento ecológico é capaz de retirar CO<sub>2</sub> do ar.** Site da FAPERJ. Disponível em: < [http://www.faperj.br/boletim\\_interna.phtml?obj\\_id=7640](http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=7640)>. Acesso em: fev. 2012.

NDONZUAU, F. N.; PIRNAY, F.; SURLEMONT, B. A Stage Model of Academic Spinoff Creation. **Technovation**, 22, 281-289, 2002.

NOLL, V. **Fibras e cabos ópticos**, 2002. 31 f. Apostila

PACHECO-TORGAL, F; DING, Y; JALALI, S. **Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles):** An overview. *Construction and Building Materials*, Edinburgh, 30, 2012. 714-724. Disponível em: < [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)>. fev. 2012.

PATRICIO, S. M. R; et al. Aproveitamento dos resíduos industriais provenientes do corte e/ou polimento de granitos para confecção de tijolos. In: CBECIMAT, 13, 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: CBECIMAT. 4385 – 4392.

PEARCE, F. Green Foundations. **New Scientist**, London, 175, 2351, 2002.

PEREIRA, F.S.C. **Avaliação de concretos reforçados por confinamento com manta de fibra de vidro estrutural e pré-impregnada.** 2009. 170 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – UFRGN, Natal.

PERUZZI, A.P. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa.** 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

PHAAL, R.; FARRUKH, C; PROBERT, D. **T-Plan: Fast Start to Technology Roadmapping.** 2001. Cambridge University, Inst. of Manufacturing, UK.

PIM. **MRS Logística testa dormente de plástico.** Site Intelog. Disponível em: < <http://www.newslog.com.br>>. Acesso em: mar. 2012.

PINHEIRO, L.M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**, 2007. 380 f. Apostila.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – POLI-USP, São Paulo.

PORTO, T.G. **PTR 2501 - Ferrovias.** 1. São Paulo: POLI-USP (Departamento de Engenharia de Transportes), 2004. 81 p. Apostila.

PRECON. **Dormentes.** Disponível em: < <http://www.precon.com.br/preconengenharia/pre-fabricados/produtos/dormentes/>>. Acesso em: mar. 2012.

RAILWAY-TECHNOLOGY. **Pandrol Rail Fastenings - Rail Fastening Systems.** Disponível em: < <http://www.railway-technology.com/contractors/rail/pandrol/pandrol1.html>>. Acesso em: mar. 2012.

RUSSO, L. E. A. **Contribuição ao processo de avaliação técnica e seleção dos componentes da grade ferroviária para a implantação em ferrovias de transporte de carga.** 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – POLI-USP, São Paulo.

SALLES, A.C.N. **Emissões de gases do efeito estufa dos dormentes de ferrovia de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base nos seus ciclos de vida**. 2009. 218 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – UFRJ, Rio de Janeiro.

SANTOS, W.J. **Argamassa de Alto Desempenho**. 2011. 209 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – UFJF, Juiz de Fora.

SCANDIUZZI, R. **Brasil gasta R\$ 8 bilhões por ano por não reciclar materiais descartados**. Reportagem disponível no site da revista Brasil Atual . Disponível em: <<http://www.redebrasilatual.com.br/temas/ambiente/2011/10/brasil-gasta-r-8-bi-por-ano-por-nao-reciclar-materiais-descartados>>. Acesso em: fev. 2012.

SCOARIS, M.R. **Concretos reforçados com fibras: avaliação das propriedades mecânicas através do método da maturidade**. 2005. 260 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UESP, São Paulo.

SHI-CONG, K; BAO-JIAN, Z; CHI-SUN, P. **Feasibility study of using recycled fresh concrete waste as coarse aggregates in concrete Construction and Building Materials, Edinburgh**, 28, 2012. 549-556. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)>. fev. 2012.

SIDDIQUE, R.; NAIK, T.R. Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. **Waste Management**, 24, 563-569, 2004.

SIMEFRE. **CB6-ABNT** - Setor Metro-Ferroviário. Disponível em: <<http://www.simefre.org.br/abnt-cb6.htm>>. Acesso em: fev. 2012.

STOPATTO, Sérgio. **Via Permanente Ferroviária (Conceitos e Aplicações)**. São Paulo: EDUSP e CBTU, 1987. 251 p.

TOLEDO FILHO, R.D.; ENGLAND, G.L.; GHAVAMI, K. Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 1, 89 - 93, 1997.

VALEC. **Ferrovia de Integração Oeste-Leste: Plano Básico Ambiental**. Brasília: OIKOS, 2010. 180 p

VELOSO, L. Herança Maldita. **Isto É**, São Paulo, 2210, mar 2012. Disponível em: <[http://www.istoe.com.br/reportagens/195085\\_HERANCA+MALDITA](http://www.istoe.com.br/reportagens/195085_HERANCA+MALDITA)>. Acesso em: mar. 2012.

VENTURA, O.S.P.; et al. Caracterização mecânica em flexão de compósito de argamassa de cimento reforçada por fibras naturais. In: CBECIMAT, 17, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: CBECIMAT. 8221 – 8229.

VIER, S. **Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil**. Revista Rede Brasil Atual. Disponível em: <<http://www.redebrasilatual.com.br/temas/cidades/2011/10/brasil-perde-r-8-bi-por-ano-por-nao-reciclar-residuos-da-construcao-civil/>>. Acesso em: fev. 2012.

## ANEXO I

### Questionário da Análise de Atratividade e Competitividade da Tecnologia

#### 1. Análise de atratividade

Amplitude de aplicações	Quais as possibilidades de aplicação da tecnologia desenvolvida? Quais as dificuldades técnicas e alterações necessárias para viabilizar cada uma delas? Qual o tempo e os recursos necessários para o desenvolvimento das opções identificadas?
Potencial de mercado	Qual o potencial número de consumidores para cada aplicação? Quais seriam os clientes iniciais, o nível de interesse e as restrições?
Parceiros comerciais	Quais seriam os parceiros potenciais? Exige grandes mudanças em equipamentos e infraestrutura nos processos de parceiros?
Substituição de importações	A tecnologia pode gerar produtos que substituam os importados?
Vantagens competitivas	Quais seriam as vantagens em comparação com os produtos já existentes? Quais seriam os tipos de ganho (custo, qualidade, nicho diferenciado)?
Intensidade da concorrência	Qual é o perfil dos concorrentes? Existem outros pesquisadores trabalhando na mesma área?
Nível de maturidade	Os resultados experimentais são consistentes, sem grandes variações?
Transferência de tecnologia	Quais seriam as dificuldades de transferência da tecnologia para a escala industrial? Essa transferência pode acarretar em problemas de variabilidade e custos?
Tempo	Qual seria o tempo necessário para o desenvolvimento de protótipos em laboratório? Qual seria o tempo necessário para o desenvolvimento em escala semi-industrial (pesquisa de campo)?
Testes pelos potenciais clientes	Seria possível a realização de testes dentro da planta de clientes? Quando?
Aporte financeiro	Qual seria o investimento inicial para a utilização em escala industrial? Quais os gastos projetados?
Faturamento	Qual o faturamento projetado? Inclui outras aplicações?
Preço	Qual o preço médio de produtos similares no mercado? Qual o preço projetado?
Financiamento por órgãos governamentais	Quais as perspectivas de obtenção de financiamento público?
Legislações e regulamentações	Quais as regulamentações existentes para as possíveis aplicações?

## 2. Análise de competitividade

Competência da equipe	Quais são os membros, papéis e qualificações?
Importância de laboratórios e equipamentos	Qual a importância dos laboratórios no desenvolvimento da tecnologia? São acessíveis? A presença de um laboratório na indústria configura um fator crítico?
Motivação empresarial	Qual a motivação de transferir essa tecnologia para o mercado? Em que aspectos está baseada?
Ligação Tecnologia x Mercado	Leva em relação as reais necessidades do mercado?
Limitações entre a tecnologia e o processo de produção	Considera as limitações técnicas na linha de produção dos clientes?