

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL SEVERO PINHEIRO

**INFLUÊNCIA DA DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO SECO NA PRODUÇÃO
DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

RAFAEL SEVERO PINHEIRO

**INFLUÊNCIA DA DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO SECO NA PRODUÇÃO
DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
do Curso de Engenharia Civil da Coordenação
de Engenharia Civil – COECI - da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray
Co-orientador: Prof. Msc. Normélio Vitor Fracaro

**PATO BRANCO
2015**



TERMO DE APROVAÇÃO

INFLUÊNCIA DA DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO SECO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

RAFAEL SEVERO PINHEIRO

Aos 16 dias do mês de novembro de 2015, às 16H30min, na Sala de Treinamento, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 22-TCC/2015

Orientador: Prof. Dr. Mário Arlindo Paz Irrigaray (DACOC / UTFPR-PB)

Coorientador: Prof. Msc. Normélio Vítor Fracaro (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. Paola Regina Dalcanal

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. José Miguel Etchalus

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, gostaria de agradecer aos meus maravilhosos pais Daniel Rodrigues Pinheiro e Neraí Fátima Severo Pinheiro, que embora não estejam mais entre nós, conseguiram me dar base moral e educação para seguir em frente mesmo com todas as pedras no caminho e me graduar, realizando este sonho, que sempre foi tão meu quanto deles.

Aos meus irmãos Eduardo e Ana Paula pelo companheirismo e carinho, que sempre aumentou mesmo através das centenas de quilômetros entre nós.

À minha namorada Fabiana, por todo carinho e compreensão, especialmente após as noites mal dormidas de estudo.

Ao professor orientador Mario Arlindo Paz Irrigaray pela oportunidade concedida, pelos conselhos, experiência e os conhecimentos repassados durante estes anos de graduação.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco e os professores da Coordenação de Engenharia Civil por esta magnífica chance de expandir meus conhecimentos não somente no âmbito acadêmico, mas na minha vida.

Aos meus amigos e colegas que tornaram minha vida universitária maravilhosa, e cuja amizade levarei para todo o sempre, esperando que perdure muito tempo, e sabendo que eu não seria a mesma pessoa se vocês não tivessem me acompanhado neste caminho.

À Brava Engenharia e Arquitetura não somente pela oportunidade de estágio, mas por todo auxílio e conselhos durante o desenvolvimento do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

Novamente meu muito obrigado à todos acima supracitados, vocês contribuíram muito para meu crescimento pessoal e profissional, sendo igualmente responsáveis pelos bons frutos de minha carreira que inicia-se em breve.

*“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas,
mesmo expondo-se ao fracasso,
do que alinhar-se com os pobres de espírito,
que nem gozam muito nem sofrem muito,
porque vivem numa penumbra cinzenta,
onde não conhecem vitória, nem derrota.”*

Theodore Roosevelt

RESUMO

PINHEIRO, RAFAEL S. **Influência da Dosagem Racional do Concreto Seco na Produção de Peças de Concreto para Pavimentação Intertravada**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

Os blocos de concreto para pavimentação intertravada, também conhecidos como *pavers* tem sido utilizados há algumas décadas em alguns países, mas no Brasil sua utilização só ganhou popularidade a partir dos anos 2000. Ainda assim, a falta de controle de qualidade e o não cumprimento dos requisitos das normas vigentes trazem, não somente prejuízos financeiros consideráveis às indústrias de artefatos de cimento, mas também, reduzem a confiança do consumidor em relação ao produto. Além do mais, com a expansão de construção civil brasileira ocorrida nos últimos anos, o mercado de materiais se tornou mais competitivo, exigindo cada vez mais qualidade nos produtos e redução do desperdício. O problema de falta de controle de dosagem e qualidade normalmente é atribuído à ideia errônea de que a dosagem do concreto seco é um processo caro e demorado. O presente trabalho apresenta comparações técnicas e financeiras de blocos de concreto para pavimentação intertravada (*paver*) produzidos utilizando um método de dosagem empírico, e um racional. Demonstra também a influência da dosagem racional na produção dos referidos blocos, e estimativas de lucro empregando a mesma na indústria.

Palavras-chave: Blocos Intertravados. Qualidade. Dosagem de Concreto seco. Materiais para construção. Pavimentação.

ABSTRACT

PINHEIRO, RAFAEL S. **Influence of a mix design for dry concrete for block paving production** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

The concrete blocks for interlocking paving, also known as pavers, have been used for decades in some countries, but in Brazil its use only gained popularity in recent years. Still, the lack of quality control and the failure to meet the requirements of existing rules not only bring considerable financial losses to cement artifacts industries, but also reduce customer confidence in the product. Besides, with the expansion of Brazilian construction occurred in the last years, the market became more competitive, requiring more quality of products and reduction of waste. The problem of lack a proper mix design and quality control is normally attributed to the erroneous idea that this process is lengthy and expensive. This paper presents technical and financial comparisons between pavers produced using an empirical dosage method, and a rational one. It also demonstrates the influence of the application of this rational dosage method in the production of concrete blocks, and the financial gains of its application in the cement artifacts industry.

Keywords: Concrete blocks for interlocking paving. *Paver*. Mix design for dry concrete. Construction Materials. Paving.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Tipos de blocos Intertravados	19
Figura 3 Resistência à compressão de corpos de prova x peso específico	25
Figura 5 Curva granulométrica de referência	28
Figura 6 Granulometria recomendada para produção de pavimentos pré-moldados de concreto	29
Figura 8 Evolução média da resistência à compressão dos cimentos	34
Figura 11 Silo de armazenamento de agregados.....	48
Figura 12 Misturador horizontal.....	50
Figura 13 Chapas de compensado naval armazenadas	51
Figura 14 Rack System	52
Figura 15 Representação esquemática de partes de uma vibroprensa	53
Figura 16 Mecanismo de funcionamento da gaveta.....	54
Figura 17 Molde e contramolde instalados para fabricação de <i>pavers</i>	56
Figura 20 Ensaio de resistência à compressão.....	62
Figura 21 Ensaio de absorção de água.....	63
Figura 22 Características Técnicas HZ-06.....	64
Figura 23 Detalhes Técnicos HZ-06.....	64
Figura 24 Linha de Produção Automatizada	65
Figura 25 Fluxograma de atividades	66
Figura 27 Ensaio de Massa específica.....	70
Figura 28 Curva granulométrica da areia natural	71
Figura 30 Curva granulométrica do pedrisco.....	73
Figura 32 Composição granulométrica da areia artificial.....	75
Figura 34 Composição granulométrica do pó de pedra basáltica.....	76
Figura 36 Traço Empírico 1	79
Figura 37 Traço 1 recém moldado	80
Figura 41 Traço empírico 2	83
Figura 42 Traço 2 recém moldado	84
Figura 46 Traço empírico 3	87
Figura 47 Traço 3 recém moldado	88
Figura 51 Traço Empírico 4.....	91
Figura 52 Traço 4 recém moldado	92

Figura 56 Traço empírico 5	95
Figura 57 Traço 5 recém moldado	95
Figura 62 Proporções sendo homogeneizadas	101
Figura 63 Tubo de proporcionamento devidamente cheio	101
Figura 67 Curva granulometria TUBO 5.....	105
Figura 68 Curva granulométrica de referência	105
Figura 69 Traço Racional	106
Figura 70 Amostras do traço racional saturadas.....	107
Figura 71 Ranhuras laterais de amostra do traço racional.....	107

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

ARI – ALTA RESISTÊNCIA INICIAL

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

CP – CIMENTO PORTLAND

EUA – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

IBRACON – INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO

ICPI – INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE

NBR – NORMA BRASILEIRA

SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ

SINTRACONPB – SINDICATO DOS TRABALHADORES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DO IMOBILIÁRIO DE PATO BRANCO PR

UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

UTFPR – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de variação em indústria de artefatos de concreto.....	25
Tabela 2 - Valores de desvio padrão de acordo com o equipamento.....	27
Tabela 3 - Valores médios da composição de diversos tipos de Cimento Portland..	31
Tabela 4 - Limites granulométricos dos agregados miúdos.....	38
Tabela 5 - Classificação granulométrica da areia.....	38
Tabela 6 - Fator Multiplicativo P.....	60
Tabela 7 - Coeficiente Student.....	61
Tabela 8 - Massa específica dos grãos da areia natural.....	72
Tabela 9 - Massa específica dos grãos de pedrisco.....	74
Tabela 10 - Massa específica dos grãos de areia artificial.....	75
Tabela 11 - Massa específica pó de pedra.....	77
Tabela 12 - Análise dimensional traço 1.....	81
Tabela 13 - Ensaio de Absorção de água traço 1.....	82
Tabela 14 - Resistência à compressão do traço 1.....	84
Tabela 15 - Análise Dimensional traço 2.....	85
Tabela 16 - Absorção de água traço 2.....	86
Tabela 17 - Resistência mecânica à compressão traço 2.....	86
Tabela 18 - Análise dimensional do traço 3.....	89
Tabela 19 - Absorção de água traço 3.....	90
Tabela 20 - Resistência à compressão traço 3.....	90
Tabela 21 - Análise dimensional traço 4.....	93
Tabela 22 - Absorção de água traço 4.....	94
Tabela 23 - Resistência à compressão traço 4.....	94
Tabela 24 - Análise dimensional traço 5.....	96
Tabela 25 - Absorção de água traço 5.....	97
Tabela 26 - Resistência à compressão traço 5.....	98
Tabela 27 - Comparativo resistência x custo.....	99
Tabela 28 - Desenvolvimento de traço racional 1.....	103
Tabela 29 - Umidade dos agregados.....	103
Tabela 30 - Comparativo de custo de produção.....	104
Tabela 31 - Análise dimensional traço racional.....	108
Tabela 32 - Ensaio de absorção de água traço racional.....	109

Tabela 33 - Ensaio de resistência à compressão.....	110
Tabela 34 - Resistência x Custo de produção do traço racional.....	110
Tabela 35 - Pisos Salariais.....	111
Tabela 36 - Encargos sociais relacionados à contratação de funcionários.....	112
Tabela 37 - Comparação de custo de mão de obra.....	112
Tabela 38 - Custo do consumo de energia elétrica.....	113
Tabela 39 - Tarifas de consumo de água em localidade industrial.....	113
Tabela 40 - Comparativo de consumo e custo da água.....	113
Tabela 41 - Comparativo final de custo/m ²	114
Tabela 42 - Comparativo de lucro.....	115
Tabela 43 - Estimativa de lucro comparando as duas metodologias de dosagem...	116

1. INTRODUÇÃO

A fim de obter um acesso melhor às áreas cultiváveis e às fontes de madeira, rochas, minerais e água, o homem criou as estradas, sendo os primeiros registros históricos provenientes da China, mas até então não havia uma técnica construtiva definida (BALBO, 2007).

Posteriormente, na região onde existe a atual Grécia, os povos helenos desenvolveram a pavimentação utilizando pedras justapostas, técnica que ganhou notoriedade pela Via Ápia, esta já no Império Romano, ligando a cidade de Roma à Brindisi, com 660 km de extensão.

Na América do Sul, povos nativos já utilizavam rochas justapostas em suas estradas, das quais podem ser citadas os Caminhos do Piabiru de São Thomé, um emaranhado de trilhas indígenas, que interligavam diversas aldeias, que viviam do litoral sul às proximidade da Cordilheira dos Andes (FERNANDES, 2012).

Porém, o emprego de blocos de pedra talhada era limitado pela sua produção, que era majoritariamente feita à mão (ABCP, 2010).

Já no final do século XIX era utilizado um método francês, com uso de um aglomerante, semelhante aos pavimentos flexíveis atuais. Porém, o aumento da utilização de veículos tracionados mecanicamente criou a necessidade de evolução da técnica, impulsionando um processo de modernização não somente na execução das vias, mas também nos materiais que seriam empregados nas mesmas (BALBO, 2007).

No século XX, já com uma indústria cimentícia evoluída, surgiu na Alemanha e foi patenteada por Fritz Von Langsdorff em 1960 uma técnica semelhante à empregada na antiguidade, que no lugar de pedras talhadas, utilizava pequenos blocos de concreto. Os blocos de Langsdorff tiveram grande aceitação, visto que a execução de ruas utilizando-os era rápida, atuando assim na reconstrução do país, que ainda sofria os efeitos do fim da Segunda Guerra Mundial, sendo Stuttgart a primeira cidade pavimentada com blocos de concreto em 1963 (FERNANDES, 2012).

Nos dias atuais, a Alemanha é a maior produtora de blocos intertravados de concreto, ou *pavers* como são conhecidos popularmente, produzindo cerca de 200 milhões de metros quadrados por ano. Porém, apesar da tradição alemã, a nação que detém a maior tecnologia de produção de tais blocos é a Holanda, produzindo peças

com variadas cores, formatos, e até mesmo características, como é o caso do *paver* com pintura de dióxido férrico, que confere ao mesmo a capacidade de absorver a poluição do ar (FERNANDES, 2012).

Já no Brasil, apesar da enorme malha viária do país, há uma notada hegemonia na utilização do asfalto, em detrimento à utilização do concreto, tanto na pavimentação rígida quanto no emprego de blocos de concreto intertravado em vias urbanas, como vem sendo executado há anos em diversos países (ABCP, 2014).

Em território brasileiro, o *paver* chegou ainda na década de 1970, mas só ganhou popularidade a partir de 2000, quando o nome “*paver*” foi realmente incorporado ao produto, facilitando sua divulgação (FERNANDES, 2012).

No Brasil país, os requisitos de qualidade a serem atendidos pelas peças de concreto destinadas à pavimentação, são regulamentados pela ABNT NBR 9780 e 9781, utilizando o concreto seco e diversos tipos de agregados.

Apesar da existência de normas da ABNT, nem todas as fábricas produzem peças que atendem os requisitos de qualidade. Ou quando atendem, arcaram com perdas de materiais onerosas até obterem num traço adequado.

Assim, o presente trabalho propõe-se, através de uma comparação entre traços empíricos e outro dosado racionalmente, mostrar a influência que a utilização de uma dosagem técnica traz à produção das peças de concreto intertravado para pavimentação (*paver*), bem como a diferença financeira de se desenvolver este estudo na indústria.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos Gerais

Realizar comparativo de custos de peças de concreto para pavimentação, que atendam aos requisitos de ABNT NBR 9781 (2013), empregando-se na produção a dosagem empírica e a dosagem racional.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Fazer revisão bibliográfica sobre concreto seco aplicados à produção de peças de concreto;
- Caracterizar os materiais a serem empregados na dosagem do concreto seco e produção das referidas peças (cimento CPV-ARI, areia natural, areia de britagem de rocha, pedrisco, pó de pedra basáltica e aditivos plastificantes);
- Produzir peças de concreto para pavimentação intertravada do tipo I (10cmx20cmx6cm) utilizando diferentes traços empíricos;
- Produzir peças de concreto para pavimentação utilizando método racional;
- Ensaiar as peças produzidas, conforme a ABNT NBR 9781 (2013);
- Comparar o custo de produção e a qualidade das peças produzidas adotando o método de dosagem empírico, com aquelas que foram produzidas pela dosagem racional;

1.2. JUSTIFICATIVA

A recente expansão na construção civil brasileira, tornou o mercado mais competitivo, aumentando não só a demanda de materiais, mas também exigindo uma maior confiabilidade e precisão na produção dos mesmos. Diante de um cenário onde ocorre predominância de produtos sem o selo de qualidade, faz-se necessário propiciar à indústria a viabilização de peças em conformidade com a norma e, por meio de análise da qualidade do processo produtivo, promover a produção das mesmas com a maior rapidez e menor quantidade de perdas possível.

Sendo assim, esse trabalho se propõe subsidiar os recursos técnicos necessários e suficientes para a viabilização da produção de peças de concreto destinados à pavimentação, com o menor custo possível e, em conformidade com as normas da ABNT, estabelecendo um comparativo de métodos de dosagem de concreto seco visando produção de tais peças.

2. PAVIMENTAÇÃO COM BLOCOS INTERTRAVADOS

Segundo Balbo (2005), os pavimentos em blocos de concreto intertravados, vem se tornando um sistema bastante comum de pavimentação flexível, refere-se à um revestimento composto por peças, feitas por prensagem de concreto seco, justapostas pelo seu assentamento sobre uma espécie de colchão de areia, e rejuntadas com areia selecionada.

Senço (2001) considera flexíveis os pavimentos cujas deformações, até um certo limite, não o levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estruturas a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga.

O autor supracitado ainda classifica os pavimentos intertravados como um calçamento, uma vez que indica os blocos para zonas urbanas, por estas apresentarem menor tráfego, e conseqüentemente menos trepidação e sonoridade. Ainda salienta como vantagens a facilidade de manutenção, e a alta taxa de reuso dos blocos, como quando se necessitam realizar serviços no subsolo, como no caso de instalações hidráulicas e elétricas.

O conceito de utilização de *paver* para pavimentação, é baseado exatamente no intertravamento, ou seja, na transmissão de parte da carga de uma peça para a peça vizinha através do atrito lateral entre elas. Outra característica, é que durante as primeiras semanas pós execução do pavimento, este possui característica levemente permeável, pela infiltração da água pelas juntas. Porém, tal vantagem vê seu fim em pouco tempo, uma vez que o carreamento de sedimentos sobre a superfície acaba selando e impermeabilizando as juntas (FERNANDES, 2012).

2.1. BLOCO DE CONCRETO INTERTRAVADO (*PAVER*)

Os blocos de concreto intertravados são uma boa opção para o uso em ruas e calçadas, praças e calçadões, sendo esta solução largamente utilizado no Brasil, tanto na construção quanto na reconstrução e reabilitação desse tipo de instalação urbana. Sua aplicação é amplamente variada, sendo muito utilizado também em terminais de carga em portos, aeroclubes e estradas vicinais (ABCP, 2009).

Segundo a ABNT NBR 9781 (2013), o *paver* caracteriza-se como um componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado.

A principal razão do aumento de popularidade dos *pavers* é a facilidade de execução e manutenção, visto que, pelo fato do pavimento ser composto de diversas peças segmentadas, as mesmas podem ser simplesmente removidas em caso de manutenção (FERNANDES, 2012).

O autor supracitado ainda elenca como uma outra vantagem da utilização do *paver*, o fato do mesmo geralmente apresentar-se em colorações mais claras, absorvendo menos calor, o que se traduz em maior conforto térmico superficial.

As dimensões e qualidade das peças pré-fabricadas em concreto são uniformes, uma vez que sua fabricação obedece a controles rigorosos. Além disso, as formas, cores e texturas das peças e os padrões de assentamento são extraordinariamente variados, permitindo explorar harmonicamente essa característica dos pontos de vista arquitetônico e paisagístico. Além disso, mesmo sob chuva, os pisos intertravados de concreto não são escorregadios. (ABCP, 2009).

Segundo o ICPI (2013), podem ser caracterizados como unidades de pavimentação retangulares, quadradas ou dentadas, que podem ser assentadas com uma mão sobre uma superfície regularizada. Sua área superficial geralmente é próxima de 0,07 m², com espessura contínua de até 10 cm, podendo ser comparados à camada superficial de pavimentação.

Existem no mundo mais de 100 modelos de *pavers*, inclusive com finalidades diferentes. No Brasil os mais comuns são os modelos prisma, 16 faces, paviesse, sextavado, raquete, duplo t, e estrela, mas as empresas rapidamente antecipam a

produção de diversas outras formas, cores, e com funções diversas (FERNANDES, 2012).

Ainda no que diz respeito às suas características físicas, os *pavers* são normatizados pela ABNT NBR 9781 (2013), que limita seu comprimento nominal em 250 mm, e estabelece uma largura real mínima de 97 mm na área em que será aplicada a carga do ensaio de resistência à compressão, permitindo a existências de pontos com largura inferior à 100 mm, uma vez que este possua área plana isenta de rebaixos e juntas falsas onde possa ser inscrito um círculo de 85 mm de diâmetro. A espessura das peças, deve ser de no mínimo 60 mm e expressa em múltiplos de 20. Vale lembrar que, indiferente da aplicação, as dimensões das peças devem respeitar a tolerância de 3 mm. A Figura 1 apresenta alguns dos possíveis formatos segundo a referida norma.

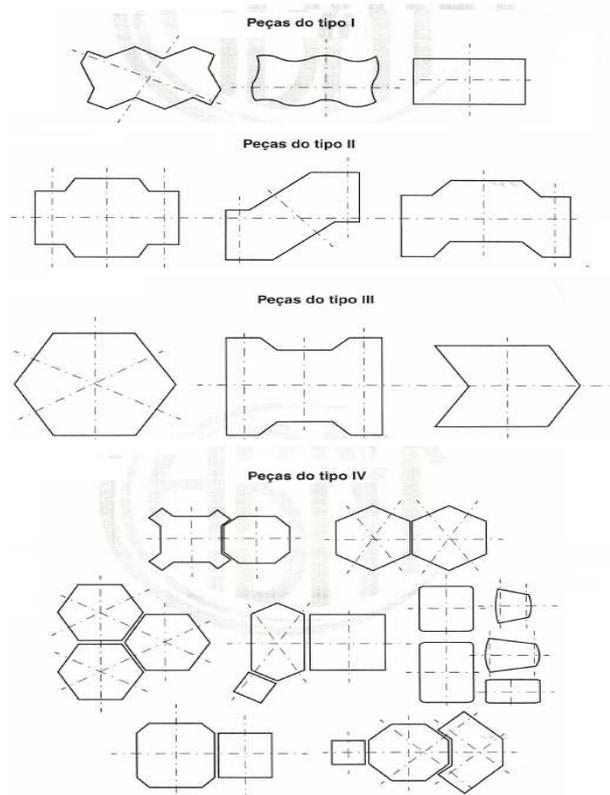


Figura 1 Tipos de blocos Intertravados

Fonte: ABNT NBR 9781 (2013).

Não há obrigatoriedade de existência de chanfros na peça segundo a norma, porém, caso a peça os possua estes devem ter dimensões variando de 3 a 6 mm, tanto nas projeções verticais quanto horizontais (ABNT NBR 9781).

2.2. CONCRETO SECO

Surgido junto com outros denominados especiais, o concreto seco tem entre suas características mais marcantes a forma que o ar é aprisionado e sua coesão, além de sua consistência, relativamente superior ao concreto plástico, uma vez que sua quantidade de água é reduzida pela necessidade de desforma acelerada (MARCHAND, 1996 apud OLIVEIRA, 2004).

A quantidade de água também lhe confere outras denominações, como slump-zero ou concreto com consistência de terra úmida, sendo necessário, no caso dos artefatos, o emprego de máquinas para realizar a vibração e compressão simultaneamente, visando buscar a compacidade desejada à peça (MARCHIONI, 2012).

Além disso, a baixa umidade da mistura, faz com que o concreto seco não siga à risca a Lei de Abrams, uma vez que as reduções na relação água/cimento não resultam em melhora na resistência à compressão, já que quantidades maiores de água resultariam em uma diminuição do atrito interno entre as partículas, e facilitando a compactação da peça, e não em uma maior porosidade, como ocorreria no caso do concreto plástico. Em outras palavras, o aumento da quantidade de água na produção da peça exige menos energia da vibroprensa para compactar a mesma, reduzindo a porosidade e gerando um aumento considerável na resistência à compressão (OLIVEIRA, 2004).

Já a coesão é importante, uma vez que a água presente é insuficiente para molhar totalmente as partículas do cimento, e por sua vez, não havendo coesão, surgem problemas de exsudação ou segregação, comprometendo a qualidade da peça. Uma maneira de garantir que não ocorram tais problemas, é o aumento do teor de finos, ou até mesmo a utilização de agregados de formato mais arredondado.

Além de uma mudança nos agregados, atualmente o mercado dispõe de inúmeros tipos de aditivos que podem ser usados para este fim (MARCHIONI, 2012).

Vale ressaltar ainda, que o teor de umidade, chega a no máximo 7,5% da massa total do mesmo (OLIVEIRA, 2004).

No estado fresco, o concreto seco deve apresentar trabalhabilidade adequada à ser moldado com equipamento disponível, além de possuir uma elevada coesão para que as peças mantenham-se inalteradas imediatamente após a desforma. Suas propriedades principais no estado endurecido são: a textura superficial (relacionada à composição granulométrica da mistura), resistência à compressão, e durabilidade, esta normalmente avaliada pela abrasão (OLIVEIRA, 2004).

2.3. DOSAGEM DO CONCRETO SECO

De modo diferente do que ocorre com o concreto plástico, que possui diversos métodos de dosagem e, quando tem plasticidade fixa, possui uma perfeita correlação da resistência com a relação água/cimento (a/c), o concreto seco dispõe de poucos métodos de dosagem. Isso deve-se à grande variação de densidade da mistura, provocada pela diferença entre os diversos tipos de equipamentos disponíveis no mercado, e suas respectivas capacidades de compactação. Este fato, anula possibilidades de um método que generalize a dosagem, sendo necessário um estudo e adequação do método escolhido ao equipamento utilizado, e tornando aconselhável que cada indústria tenha seu traço próprio (FERNANDES, 2012).

A dosagem do concreto seco visando a produção de *pavers*, tem como objetivo principal determinar um traço que atenda aos requisitos exigidos pela ABNT NBR 9781 (2013), mantendo padrões visuais aceitáveis pelos consumidores finais.

O que se vê atualmente, e que talvez seja a razão de tantas indústrias fornecerem produto de qualidade questionável, é que devido ao fato dos processos de dosagem e regulação do equipamento serem tidos como complexos e demorados, os fabricantes acabam optando por dosagens empíricas, baseando-se na experiência de quem produz as máquinas, utilizando suas “receitas”, os quais muitas vezes não

detêm conhecimento técnico na produção de concreto seco. Além disso, esse procedimento pode gerar consumo excessivo de cimento, já que nem sempre os profissionais envolvidos na implantação da indústria, estão capacitados à trabalhar com concreto seco, tendo ideias errôneas à respeito da trabalhabilidade e especialmente em relação à umidade da mistura.

As receitas prontas para traço de concreto seco podem gerar produtos com aparências muitas vezes desagradáveis, com distribuições granulométricas inadequadas, as quais geram compactações diferentes, trazendo prejuízos não somente ao consumidor, como aos próprios produtores.

Nos subitens a seguir, serão apresentados alguns métodos de dosagem de concreto seco, propostos por diversos pesquisadores, utilizando variados tipos de equipamentos.

2.3.1. Método proposto pela ABCP apresentado por Rodrigues (1995)

Este método foi apresentado por Rodrigues (1995), e baseia-se no ensaio de massa unitária de agregados em estado compactado e seco proposto pela ABNT NBR 7810 (1983). Consiste na comparação de massa de proporções diferentes das areias e pedrisco, em um recipiente padronizado e com dimensões previamente conhecidas. Seguindo a relação entre empacotamento e resistência à compressão, a proporção que apresentar a maior massa, resultará na maior resistência à compressão, uma vez que sejam mantidas as dimensões dos recipientes de ensaio, e a energia de compactação exercida pelo equipamento de vibroprensagem.

A primeira etapa do método consiste na obtenção das massas unitárias e curvas granulométricas dos agregados, para que possa ser calculada a massa a ser adicionada ao recipiente, respeitando o volume calculado para proporção desejada.

Posterior à homogeneização dos agregados, a mistura é adicionada ao recipiente em três camadas, recebendo compactação com 25 golpes cada camada utilizando uma haste metálica.

Feito isto, são tomados os pesos dos recipientes, sendo selecionado aquele que apresenta a proporção de agregados de maior massa, que conseqüentemente, apresentará maior resistência mecânica à compressão.

A quantidade de cimento, bem como a de água da mistura, devem ser obtidas a partir do conhecimento prévio do equipamento utilizado. No caso do cimento, devem ser realizados testes, partindo da capacidade máxima suportada pelo misturador, pois ao se encontrar a quantidade desta forma, seria obtido o menor consumo de cimento para a mistura.

A quantidade de água a ser utilizada na mistura será diretamente influenciada pelo tipo de equipamento utilizado, sendo alta quando o equipamento dispor de pequena energia de compactação, traduzindo-se em um maior consumo de cimento. Por outro lado, caso máquina forneça uma energia superior à peça, proporcionará um menor consumo de materiais, e conseqüentemente, maior lucro para a empresa produtora. Uma forma eficaz de se determinar com mais precisão a umidade da mistura, é fazer testes com variadas umidades, buscando a máxima quantidade de água na mistura, sem que as peças percam coesão ou colem na chapa de madeira após a moldagem.

2.3.2. Método proposto por Frasson (2000)

O método de dosagem proposto por Frasson (2000), propõe obter em laboratório, utilizando-se recipientes cilíndricos de dimensões 5 x 10 cm, corpos de prova de concreto com densidade próxima das peças produzidas no equipamento de vibroprensa, mantendo próximas características de textura superficial, coesão, e resistência à compressão.

Para proporcionar tais características, devem ser empregados agregado miúdo (ou suas misturas) com módulo de finura entre 2,20 e 2,80, além de porcentagem de passantes na peneira 0,3 mm entre 25% e 35%. O proporcionamento será feito através de tentativas empregando-se um traço de 1:9, e avaliando-se as características superficiais dos corpos de prova. Usualmente os valores encontrados apresentam-se na proporção de 20% a 40% de agregado graúdo e de 60% a 80% de

agregado miúdo, variando conforme as características dos agregados e da técnica de compactação do corpo de prova utilizada.

Definida a proporção dos agregados, o passo seguinte é a determinação da umidade da mistura empregada na moldagem dos corpos de prova, os quais serão moldados em quatro camadas de mesma espessura em um molde tripartido de 5 x 13 cm, e adensados com 20 golpes por camada com auxílio de um martelo de borracha, a fim de fazer com que a altura fique em torno de 10,3 cm. O acabamento e a compactação final dos corpos de prova, para que os mesmos alcancem a altura de 10 cm, é feito através de tarugo de nylon, comprimido por golpes do martelo de borracha.

O valor da massa dos corpos de prova deve ser definido antes para que se consiga atingir uma densidade de aproximadamente 2,2 kg/m³, assemelhando-se às peças produzidas em equipamentos automatizados. Para isto, o método requer a moldagem de 4 corpos de prova para três relações cimento/agregados diferente: 1:7, 1:9, e 1:11, totalizando 36 corpos de prova.

Os corpos de prova podem ser levados à câmara de cura juntamente com as peças produzidas na indústria, a fim de manter as mesmas condições de cura. Após 24 horas em cura, os corpos de prova devem ser identificados e deixados ao ar livre, até o momento do ensaio.

Para estimar a resistência média das peças a partir do f_{bk} da peça, emprega-se a Equação 01, proposta por Frasson (2000).

$$F_{bm} = F_{bk} / (1 - 1,65 \cdot CV)$$

Equação 01

Onde:

F_{bm} = Resistência média das peças na idade de interesse;

F_{bk} = Resistência característica na idade de interesse;

CV = Coeficiente de variação.

Nos casos em que se desconhece os coeficientes de variação do processo produtivo da indústria em questão, pode-se, novamente, empregar os coeficientes de variação propostos por Frasson (2000), os quais são dependentes do tipo de proporcionamento, do equipamento disponível, do controle do processo produtivo e da experiência pessoal do encarregado pela produção, conforme tabela 1.

Tipo de controle / equipamento no produção	Condição (valores de coeficiente de variação %)		
	Bom	Médio	Ruim
1 - Controle do processo e pessoal treinado	5	15	25
2 - Equipamentos: máquinas vibro-prensas e sensores de umidade	5	15	25
3 - Dosagem em massa	5	10	15
4 - Dosagem em volume	10	15	20

Tabela 1 - Coeficientes de variação em indústria de artefatos de concreto
Fonte: Frasson (2000)

Após definido o valor da resistência característica das peças de concreto e determinado o coeficiente de variação a ser utilizado no caso específico de determinada indústria, obtém-se a resistência média de dosagem que os blocos devem atender para garantir aos requisitos de resistência previamente definidos.

Assim, com os resultados dos ensaios à compressão dos corpos de prova, são traçadas as curvas de resistência em função das massas específicas, para cada proporção empregada (1:7, 1:9 e 1:11), como mostrado na Figura 2.

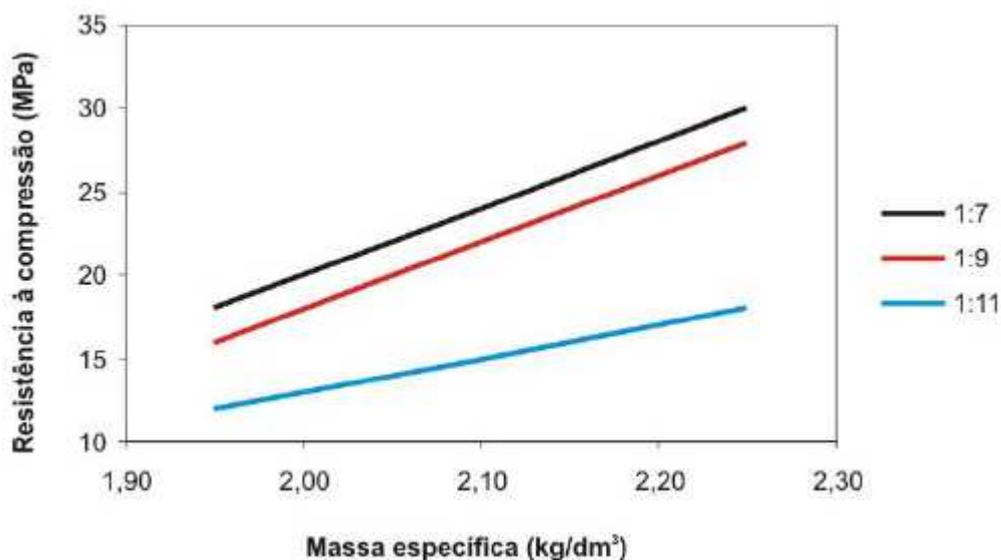


Figura 2 Resistência à compressão de corpos de prova x peso específico
Fonte: Frasson (2000)

Determinando-se a massa específica, alcançada para as peças produzidas na própria vibroprensa, com auxílio das curvas de resistência x massa específica, é

possível determinar a resistência dos corpos de prova. De posse da resistência dos corpos de prova, é possível prever a resistência média das peças produzidas pelo equipamento através da equação 02:

$$F_{bm} = \frac{f_{cp}}{\beta} \cdot \frac{A_{liq.}}{A_{brut.}}$$

Equação 02

Onde:

F_{cp} = Resistência média dos corpos de prova cilíndricos;

$A_{liq.}$ = Área líquida das peças (área superficial, descontados os chanfros);

$A_{brut.}$ = Área bruta das peças (área superficial total);

β = Coeficiente de proporcionalidade.

Em função da resistência característica desejada, e conseqüentemente da resistência média definida anteriormente, para posteriormente o traço ser definido em escala real, avaliando-se a resistência à compressão real das peças para eventuais ajustes.

2.3.3. Método de dosagem proposto por Dowson (1981)

De forma semelhante à metodologia de dosagem proposta pela Columbia (conhecida fabricante de vibroprensas), Dowson (1981) propõe uma dosagem baseada também no ajuste das proporções de agregados para que a mistura aproxime-se ao máximo de uma curva granulométrica de referência.

A resistência de dosagem, conforme o autor supracitado, é obtida através da equação 03:

$$f_{pd} = f_{pk} + 1,64 \cdot Sd$$

Equação 03

Onde:

f_{pd} = Resistência média de dosagem;

f_{pk} = Resistência média característica especificada;

S_d = Desvio padrão.

O autor ainda sugere que, caso não existam dados suficientes sobre o desvio padrão das peças produzidas pelo equipamento, sejam utilizados dados da tabela 2.

Equipamento	Desvio Padrão (Mpa)
- Somente proporciona compressão - Baixa quantidade de peças por ciclo	3,5
- Proporciona vibrocompressão - Alta quantidade de peças por ciclo	7,0

Tabela 2 - Valores de desvio padrão de acordo com o equipamento
Fonte: Dowson (1981)

Calculada a resistência desejada para as peças, os agregados devem ser combinados de tal maneira, que sua curva granulométrica se aproxime ao máximo da Figura 3. Tal curva, foi determinada experimentalmente pelo autor, utilizando-se de um equipamento conhecido como “void meter”, resultando em uma composição com um menor volume de vazios. Segundo ele, esta curva proporciona ao concreto seco uma boa trabalhabilidade e coesão, produzindo peças com excelente textura superficial, sem causar danos aos moldes do equipamento.

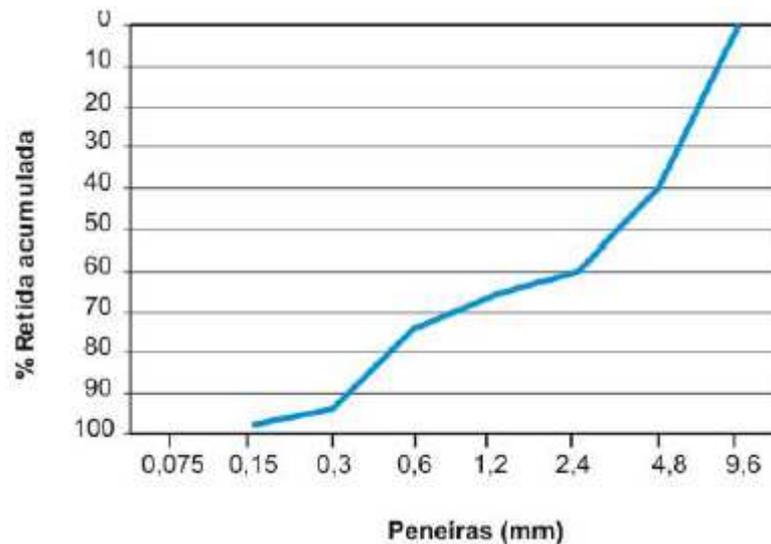


Figura 3 Curva granulométrica de referência
 Fonte: DOWSON (1981)

Dowson (1981) sugere que sejam feitos testes para diferentes proporções de cimento e agregado, de 1:3 a 1:6, definindo-se a relação ideal após realizados os ensaios de resistência à compressão.

A água por sua vez, também deve ter sua quantidade testada conforme o equipamento utilizado, mantendo-se entre 5% e 7% em relação à massa seca da mistura, de modo à produzir peças que não apresentam patologias.

2.3.4. Método adotado pela Columbia (apud Oliveira, 2004)

Proposto pela fabricante de equipamentos Columbia, o método baseia-se totalmente no proporcionamento dos agregados, de modo que a mistura enquadre-se numa faixa pré-estabelecida.

A faixa granulométrica apresentada na Figura 4 é estabelecida pela fabricante, é resultante da experiência da mesma com seus equipamentos, com bons resultados em relação à resistência à compressão, textura superficial e trabalhabilidade.

Na aplicação deste método deve existir um grande cuidado em relação à alteração dos agregados, que não devem apresentar grandes alterações em sua granulometria. Pois, isto pode comprometer sensivelmente a qualidade final das peças.

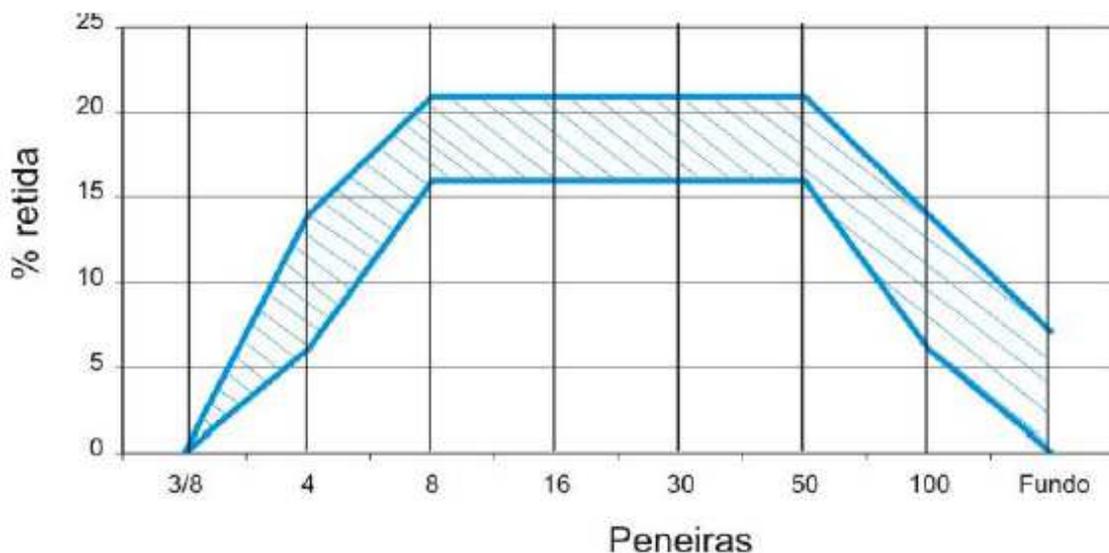


Figura 4 Granulometria recomendada para produção de pavimentos pré-moldados de concreto
 Fonte: Columbia(1986)

De posse das proporções entre os agregados, são realizados testes no equipamento, adicionando-se de 14 a 15% de cimento (traço mais pobre) e aumentando essa porcentagem gradativamente até obter peças com resistência e textura desejadas.

De modo análogo, a quantidade de água adicionada à mistura deve iniciar em 5%, sendo aumentada até o máximo possível, sendo limitada no ponto em que a água inicia a prejudicar a integridade da peça.

2.4. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO SECO

Definir e indicar as quantidades de materiais para confecção de concreto destinado à fabricação de *pavers* ou qualquer produto à base de cimento, sem conhecer os materiais e recursos disponíveis, será sempre um ato empírico e oneroso, e, portanto, de pouca precisão ou confiabilidade. Isso se dá porque os traços, especialmente os empregados na produção de peças de concreto, dependem tanto das características físicas e da qualidade dos agregados e da peça que se deseja obter, como também dos recursos humanos e mecânicos empregados no

proporcionamento, homogeneização e compactação da mistura e cura das peças. Além disso, porque existem no mercado cimentos com resistências que variam na faixa de 34 a 50 Mpa, sem contar o efeito das adições, aditivos e de outros recursos destinados a melhorar o desempenho do cimento no concreto. Além do mais, existem atualmente diversos tipos e modelos de equipamentos, que podem atuar de maneira distinta de acordo com a origem do material utilizado (FERNANDES, 2012).

2.4.1. Cimento Portland

Primeiramente utilizado pelos romanos, o concreto baseava sua constituição nos chamados concretos hidráulicos, pelo fato destes não sofrerem alterações químicas pela exposição à água ao longo do tempo, e endurecer pela ação da mesma. Já em 1824 caiu em desuso, dando lugar ao Cimento Portland, patenteado por John Leeds, e sendo rebatizado, devido à sua semelhança em estado endurecido, com as ilhas britânicas de Portland (NEVILLE, 2013).

Mehta e Monteiro (1994), faz uma citação de um artigo publicado na revista “Scientific American”, que em 1963 nos Estados Unidos da América, 63 milhões de toneladas de cimento Portland foram convertidas em cerca de 500 milhões de toneladas de concreto, e estimava-se que até o ano de publicação de seu livro, o consumo mundial do material estava na ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano.

A matéria-prima utilizada para a produção do cimento Portland consiste principalmente em calcário, sílica alumina e óxido de ferro. Esses compostos reagem no forno dando origem ao clínquer e, apesar de combinado a um pequeno resíduo de cal devido ao tempo insuficiente para reação, é alcançado um estado de equilíbrio químico (NEVILLE, 2013).

Segundo Prudêncio Junior (1999), o clínquer é formado pelos seguintes compostos:

- Silicato tricálcico (C_3S) – Responsável pela resistência inicial, reage em poucas horas em contato com a água, liberando grande quantidade de calor de hidratação.

- Silicato dicálcico (C_2S) – Com pega lenta e baixa resistência aos 28 dias, porém a mesma aumenta durante o primeiro ano chegando a equivaler com a do C_3S e liberando baixo calor de hidratação.
- Aluminato tricálcico (C_3A) – Sua quantidade deve ser pequena, uma vez que possui pega instantânea e altíssimo calor de hidratação, além de ter baixa resistência e não resistir à ação de águas sulfatadas. Porém, sua presença é importante por agir como fundente muito solúvel, facilitando a formação de clínquer à temperaturas mais baixas.
- Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) – Possui pega rápida, porém não instantânea como o C_3A . Tem baixa resistência, porém apresenta a vantagem de proporcionar ao cimento resistência ao ataque de águas sulfatadas.

Entretanto, quando hidratados, cimentos com diferentes composições químicas podem apresentar propriedades diferentes. Assim, é possível selecionar composições de matérias-primas para produção de cimentos com várias propriedades desejadas. A tabela 3 a seguir mostra os valores médios da composição de cimentos compostos (NEVILLE, 2013).

Tipo	Composição de compostos (%)							Perda ao
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO livre	MgO	fogo
I	59	15	12	8	2,9	0,8	2,4	1,2
II	46	29	6	12	2,8	0,6	3,0	1,0
III	60	12	12	8	3,9	1,3	2,6	1,9
IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	1,0
V	43	30	4	12	2,7	0,4	1,6	1,0

Tabela 3 - Valores médios da composição de diversos tipos de Cimento Portland
Fonte Neville (2013)

Segundo Helene (1993), além da composição, existem outros fatores que influenciam nas características do cimento. A finura por exemplo, é um fator crucial na velocidade da reação de hidratação. O aumento da finura melhora a resistência, especialmente nas primeiras idades, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos. Porém, ocorre a liberação de maior quantidade de calor de hidratação, que causa problemas à concretos mais sensíveis.

Ainda segundo o referido autor, a ABNT NBR 5743 (1989) prevê ensaios de perdas ao fogo e resíduos insolúveis que podem ajudar a fornecer informações sobre até que ponto ocorreu a carbonatação e hidratação devido à exposição do cimento ao ar, ou seja, seu envelhecimento. Permite também detectar a adição de substâncias estranhas, inertes, que sejam insolúveis no ácido clorídrico.

Além é claro, o largamente utilizado ensaio de resistência à compressão, regulamentado pela ABNT NBR 7215 (1996), através do qual é possível conhecer previamente o comportamento mecânico do cimento.

Além disso, com a evolução da química do cimento e das pesquisas com adições minerais, surgiram os cimentos compostos, com adições minerais, os quais tinham como objetivo reduzir o impacto ambiental, por meio da redução da extração dos recursos minerais e também devido à redução tanto da energia necessária à produção do clínquer, quanto devido à redução das emissões de gás carbônico ao meio ambiente. O surgimento desses cimentos contribuiu para a melhoria da qualidade dos produtos derivados do cimento, dentre eles o concreto.

A adição de escória granulada de alto forno bruscamente esfriada e finalmente moída, resultante da produção do ferro gusa e formada por silicatos, serve para fabricar o CP-II-E e o CP-III. Os silicatos provenientes da escória são praticamente inertes em água, mas em ambiente alcalino, como é o caso dos concretos, se hidratam na presença de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Os produtos provenientes dessa hidratação são muito similares aos do C-S-H (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo Fernandes (2012) a pozolana, por ser um material silicoso (ou sílico-aluminoso), proveniente de cinza vulcânica (quando natural) ou da argila calcinada (artificial), ou da cinza de carvão mineral, reage com o hidróxido de cálcio, na presença de umidade e, forma compostos com alto poder aglomerante que ocupam os vazios da pasta e da zona de transição, melhorando substancialmente a resistência e a durabilidade dos concretos. A pozolana é empregada no CP-II Z, no CP IV e no CP V-ARI-RS. Por sua vez, o CP-II F, recebe adição de filler, um material carbonático obtido pela moagem do calcário, buscando maior trabalhabilidade e melhor acabamento nas peças.

Segundo a ABNT NBR 9781 (2013), os cimentos utilizados nos blocos intertravados devem obedecer suas respectivas normas, o que garante que existe a possibilidade de se produzir *pavers* com diversos tipos de cimento. Porém, existem

grandes diferenças na utilização de cada um deles, como por exemplo, um cimento CP-V ARI, que em suas idades iniciais, pode ter o dobro de resistência do CP II. Cimentos do tipo CP-III e CP-IV são indicados para ambientes agressivos, mas podem sim ser usados na produção de peças de concreto seco, desde que sejam tomadas precauções e estudos de dosagem adequadas (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo o referido autor, os cimentos mais fabricados, e, conseqüentemente comercializados são os tipos CP-II-E, CP-II-F e CP-II-Z, formando o grupo dos cimentos compostos, produzidos respectivamente com adição de escória, filler calcário e pozolana. Todos servem para fabricação de blocos e *pavers* e têm desempenho muito similar. Pequenas variações de desempenho ficam por conta da diferença de qualidade entre uma marca e outra.

Ainda de acordo com Fernandes (2012), a maioria dos produtores de *pavers* preferem utilizar o CP-V ARI em suas indústrias, mesmo que custe em média 20% mais caro que cimentos compostos. A vantagem da sua utilização está ligada à sua desforma rápida, o que aumenta a produção e dispensa grandes espaços de estocagem e cura.

Este aglomerante é obtido pela moagem do clínquer mais sulfato de cálcio, podendo receber adição de até 5% de filler calcário. A elevada resistência inicial é obtida geralmente pela maior finura, uma vez que a mudança de composição do clínquer tornando-o mais rico em C_3S é operacionalmente complicada para as fábricas de cimento. Não deve ser empregado em concreto massa e elementos de grandes dimensões, dado o elevado calor de hidratação por ele gerado (PRUDÊNCIO JUNIOR, 1999).

Segundo Fernandes (2012), empresas com maior disponibilidade de recursos, tendem a contratar profissionais especializados na área, para tentar utilizar outros tipos de cimento, porém, na maioria das vezes torna-se inviável, não só pelo maior tempo de cura, mas também por demandar um investimento maior de chapas de alimentação da vibroprensa, onde a peça precisa ficar até ser paletizada.

Cimentos do tipo CP III e CP IV são fabricados com teores mais elevados, respectivamente de escória siderúrgica e de pozolana. São próprios para obras em meios agressivos como galerias de águas pluviais, tubos de esgoto sanitário, canais e outros (FERNANDES, 2012).

Resumidamente, pode-se dizer que não são descartadas as utilizações de outros tipos de cimento na produção de *pavers*, desde que seja realizado um custo comparativo à longo prazo de seus benefícios. Porém, a curto prazo, a característica mais importante do cimento para ser utilizado, é a resistência inicial, e a capacidade das peças feitas com o mesmo de se manterem íntegras até chegar ao consumidor. A Figura 5 mostra a curva de evolução de resistência à compressão e diversos tipos de cimento, e suas respectivas idades de ruptura.

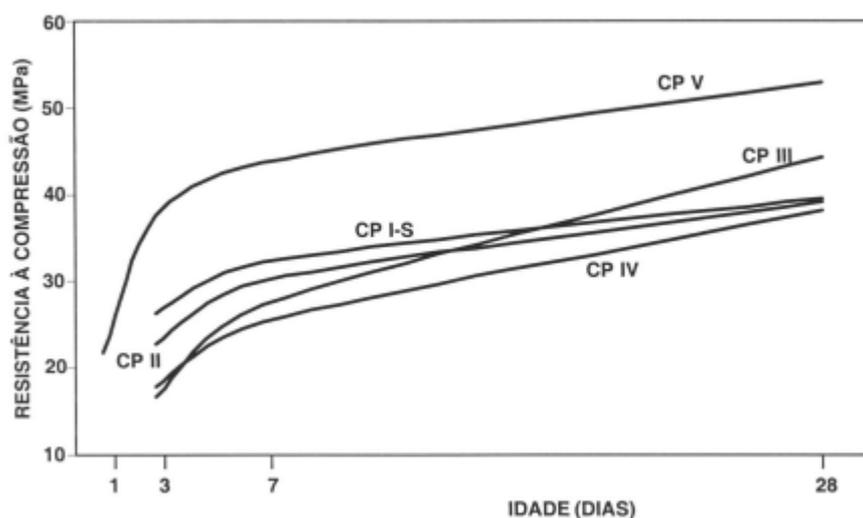


Figura 5 Evolução média da resistência à compressão dos cimentos (Fonte: ABCP, 1996)

2.4.1.1. Armazenamento do Cimento Portland

A ABNT NBR 12655 (2006) recomenda que o cimento seja armazenado em local fechado, longe da ação da chuva, névoa, ou condensação. Caso armazenado em sacos, estes devem ser empilhados numa altura de no máximo 15 unidades se ficarem armazenados até 15 dias, e 10 unidades, caso permaneça estocado por período maior.

Segundo Fernandes (2012), em indústrias produtoras de artefatos de cimento, deve-se também existir um local de armazenamento secundário, próximo do

misturador, e com altura limite de 5 unidades, facilitando a adição do mesmo à mistura pelo operador.

Caso não sejam tomadas medidas corretas para armazenar o cimento e o mesmo apresentar-se empedrado, significa que partes do mesmo se hidrataram. Se as pedras formadas ainda puderem ser desfeitas com os dedos, um peneiramento do material poderá resolver o problema, visto que neste caso o mesmo não está comprometido, mas em caso contrário, o material deve ser descartado. Outra opção em caso de empedramento, é a ordem em que os materiais são inseridos no misturador. Se o cimento estiver hidratando, o mesmo pode ser adicionado à mistura por último, pois assim as pequenas pedras serão facilmente desfeitas. É importante também, que haja um controle de qualidade eficaz, para caso o lote feito com este material gere problemas, possa ser facilmente rastreado (FERNANDES, 2012).

2.4.2. Agregados

Segundo a ABNT NBR 9935 (2011) agregado é o material granular pétreo, sem forma ou volume definido, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia. Por serem potencialmente inertes, não participam das reações químicas da mistura, sendo considerados por Mehta E Monteiro (1994) apenas materiais de enchimento do concreto.

A economia proporcionada pelo mesmo é grande, sendo viável sua utilização no concreto, quanto mais agregado e menos cimento. Mas além do fator econômico, o agregado confere vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura (NEVILLE, 2013).

O referido autor ainda classifica como agregados naturais, aqueles formados por processos de intemperismo e abrasão ou por britagem de grandes blocos da rocha-mãe, sendo assim muitas de suas propriedades estão ligadas às da mesma, como classificação petrográfica, dureza, resistência, etc. Porém, outras propriedades

como forma e dimensão das partículas, textura superficial e absorção, são independentes da rocha mãe, mas igualmente importantes para a qualidade do concreto, tanto no estado seco, quanto no estado endurecido.

A maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho têm massa unitária entre 1520 e 1680 kg/m³ e produzem concretos normais, com massa específica de aproximadamente 2400 kg/m³. Por outro lado, existem materiais processados termicamente, tais como argila, folhelhos expandidos, e areia de britagem, que são usados para a produção de concreto leve e concreto seco, são chamados agregados artificiais. (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Segundo Fernandes (2012) quase todos os agregados empregados no concreto convencional podem ser utilizados para fabricação de artefatos, estando a diferença no tamanho máximo dos grãos, que para a produção de *pavers*, recomenda-se que os agregados tenham dimensão máxima de 6,3 mm, de forma a garantir bom acabamento superficial da camada de rolamento. Além disso, uma boa distribuição granulométrica e correta distribuição entre agregados reduz os espaços vazios, diminuindo o consumo de cimento, e melhorando significativamente a aparência final da peça.

Segundo a ABNT NBR 7211 (2009) são classificados como agregados graúdos os grãos passantes da peneira com abertura de malha 75 mm e são retidos pela peneira cuja abertura é de 4,75 mm, e seguindo a mesma lógica, os considerados miúdos passam na peneira com 4,75 mm de abertura, e são retidos na malha de 150 µm.

2.4.2.1. Agregado miúdo

Segundo Helene (1993), as seguintes características dos agregados miúdos tem grande influência sobre a dosagem do concreto:

- Granulometria – Influencia a qualidade do mesmo, uma vez que age na sua compactidade e resistência;

- Módulo de finura – Relaciona-se com a área superficial do agregado, e conseqüentemente altera a água de molhagem. Recomenda-se mantê-lo constante para evitar a alteração de traço;
- Massa unitária – Relação entre a massa total da amostra de agregados e seu volume, considerando-se os vazios existentes entre seus grãos. É importante pelo fato de servir para realizar as transformações dos traços de massa para volume e vice-versa.
- Massa específica – É a relação entre a massa e o volume de cheios, isto é, o volume dos grãos dos agregados.
- Inchamento – Caracteriza-se pelo aumento de volume aparente de uma quantidade de agregado, em função do teor de umidade. Faz-se necessário para a correção do traço em volume, uma vez que o mesmo é alterado devido à umidade, pode-se chegar à diferentes massas de agregados para uma mesmo volume;

Uma importante característica de agregados adequados é a uniformidade de granulometria. No caso de agregados graúdos, isso é relativamente fácil pelo uso de pilhas separadas para cada dimensão. Entretanto, um cuidado muito maior é necessário para manter a uniformidade de agregados miúdos, tais como separação por baias ou caixas (NEVILLE, 2013).

Em se tratando de distribuição granulométrica, Rodrigues (1984) faz sérias restrições quanto ao uso de areias grossas, como as da zona 4 (tabela 4), devido ao fenômeno de interferência entre as partículas, que dificulta a compactação. O referido autor recomenda que a granulometria das areias seja estudada adequadamente, pois sua influência sobre as propriedades reológicas do concreto no estado fresco mostra-se mais pronunciada do que no agregado graúdo. Usualmente, fabricantes de artefatos de cimento utilizam areias classificadas como média (tabela 5), com módulos de finura entre 2,5 e 3,2. Estas areias devem apresentar granulometria contínua, pois a falta de continuidade pode comprometer seriamente a qualidade final da peça (apud OLIVEIRA, 2004).

Peneiras (mm)	Porcentagens acumuladas em massa			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
6.3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4.8	0 a 5 ^A	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2.4	0 a 5 ^A	0 a 15 ^A	0 a 25 ^A	5 ^A a 40
1.2	0 a 10 ^A	0 a 25 ^A	10 ^A a 45 ^A	30 ^A a 70
0.6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0.3	50 a 85 ^A	60 ^A a 88 ^A	70 ^A a 92 ^A	80 ^A a 95
0.15	85 ^B a 100	90 ^B a 100	90 ^B a 100	90 ^B a 100

A - Pode haver uma tolerância de até no máximo cinco unidades de por cento em um só dos limites marcados com a letra A ou distribuídos em vários deles.

B - Para agregado miúdo resultante de britamento, este limite poderá ser 80.

Tabela 4 - Limites granulométricos dos agregados miúdos

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009)

Além disso, a ABNT NBR 6502 (1995), no que diz respeito às areias, as classifica de acordo com o tamanho dos seus grãos, conforme mostrado na da tabela 5.

CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA		
AREIA	DIÂMETRO MÍNIMO (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO (mm)
Grossa	0,60	2,0
Média	0,20	0,6
Fina	0,06	0,2

Tabela 5 - Classificação granulométrica da areia

Fonte: ABNT NBR 6502 (1995)

2.4.2.1.1. Areia de britagem de rocha

Segundo a ABNT NBR 9935 (2011), a areia de britagem caracteriza-se como agregado miúdo proveniente da desintegração artificial de rocha por processo de cominuição mecânica.

As principais vantagens na utilização da areia de britagem de rocha, ou industrial, como é popularmente conhecida, estão na limpeza e rugosidade da sua

superfície, e na sua granulometria praticamente constante, resultado do processo mecânico de beneficiamento. Porém, ao empregá-la na produção de *pavers*, deve-se ter certo cuidado, evitando o uso de material muito lavado, pois neste caso, a areia já perdeu seus finos, parcela indispensável para a fluidez e redução do consumo de cimento do concreto. Outro cuidado referente seu uso, está no tipo da rocha que lhe deu origem. Areias provenientes da britagem de calcário, basalto e gnaisse, desgastam consideravelmente menos os moldes, se forem comparadas à aquelas obtidas de quartzo, uma vez que este é muito duro, e mais abrasivo (FERNANDES, 2012).

2.4.2.1.2. Areia natural

Caracteriza-se como o agregado miúdo proveniente da sedimentação e desintegração de rochas por agentes da natureza (ABNT NBR 9935, 2011).

Uma areia natural de boa qualidade deve ser limpa, e sem presença de torrões de argila, e matéria orgânica. Sua distribuição granulométrica deve apresentar grãos de variados tamanhos, possibilitando que os espaços entre os maiores, sejam preenchidos pelos menores. Além disso, não deve ser muito lavada, pois o excesso de perda de finos reduz a coesão da mistura, resultado num aumento no número de peças apresentando quebra ainda na esteira (FERNANDES, 2012).

O autor supracitado ainda elenca uma grande dificuldade na utilização de areia natural, referente à variação de cor de lote para lote, que interfere na cor final da peça, podendo ser interpretado erroneamente pelo consumidor como alteração na qualidade.

2.4.2.1.3. Pó de pedra basáltica

O pó de pedra é o rejeito da exploração de pedreiras e seu diâmetro máximo é inferior à 4,8 mm. Em função da sua granulometria, pode ser classificado como areia média. Atualmente, o pó de pedra não possui valor comercial de mercado, sendo considerado um “material marginal”, que não possui destinação definida, permanecendo estocado nos pátios de pedreiras, formando enormes pilhas que provocam vários impactos ambientais (MENOSSI, 2004).

Segundo Fernandes (2012), sua utilização na produção de artefatos deve ser feita com cautela, e com devido conhecimento granulométrico, pois quando possui muito material fino, com dimensões menores que 0,074 mm, atua como inerte, concorrendo com o cimento e diminuindo drasticamente a resistência do concreto. Na produção de *pavers*, existe um consumo de cimento naturalmente maior (cerca de 10 a 20%), já existindo finos o suficiente para proporcionar coesão nos outros agregados, tornando seu uso desaconselhável.

Porém, caso possua quantidade balanceada de finos, combina muito bem com a areia grossa e o pedrisco, completando uma granulometria ideal para produção de *pavers*. Sendo assim, sua utilização depende de uma análise detalhada de sua granulometria, e caso a mesma não seja realizada, o mais indicado seria sua não utilização, a fim de evitar perdas desnecessárias de produção (FERNANDES, 2012).

2.4.2.2. Agregado graúdo

Assim como acontece com os miúdos, o agregado graúdo possui diversas outras características, além da origem e dimensão, que influenciam na dosagem do concreto. Segundo Helene (1993), a maioria delas como a granulometria, massa específica, e apreciação petrográfica, são análogas aos agregados miúdos, porém, a dimensão máxima característica deve sofrer controle especial, garantindo economia e trabalhabilidade, mas interferindo na dimensão das formas e no tempo de vibração, no caso de peças de concreto feitas em vibroprensas.

O tipo de rocha influi na durabilidade do molde. O quartzo por exemplo, é muito mais abrasivo que o calcário e pode significar 10 a 15 mil ciclos a menos num molde. A dimensão máxima dos grãos influi no tempo de enchimento, no acabamento das peças e na durabilidade dos moldes, principalmente o contramolde (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo o referido autor, o formato dos grãos, lamelares ou arredondados, influi na trabalhabilidade do concreto, nos tempos de enchimento de molde, no adensamento e no acabamento das peças. A dureza do grão influi na resistência do concreto e, por último, a limpeza e a rugosidade superficial dos agregados influem na aderência da pasta de cimento ao agregado, que por sua vez afeta a resistência à tração e à compressão das peças.

2.4.2.2.1. Pedrisco

Com granulometria inferior a 12,5 mm, é muito requisitado na fabricação de vigas e vigotas, lajes pré-fabricadas, intertravados, tubos, blocos, *pavers*, paralelepípedos de concreto, chapiscos, e acabamentos em geral. Ganhando ainda maior mercado com a modernização das indústrias de artefatos (SBRIGHI, 2012).

Segundo Fernandes (2012), na produção de *pavers*, recomenda-se a utilização de grãos com granulometria entre 4,8 mm e 6,3 mm, possibilitando a adição de um percentual maior do material na mistura, ocasionando aumento no volume do concreto, e conseqüentemente a diminuição do consumo de cimento. Esta ainda seria uma vantagem secundária, visto que primordialmente, o pedrisco proporciona melhoria significativa em praticamente todos os parâmetros do concreto seco no estado endurecido. Além disso, na produção de *pavers*, pedriscos com diâmetro superior à 9,5 mm limitam o percentual de adição da mistura em 15%, percentual que poderia chegar a 30% mantendo um acabamento satisfatório, caso fosse utilizado material com granulometria menor.

Quanto maior for o teor de adição de pedrisco, proporcionalmente no traço, maior será a resistência dos blocos para um consumo fixo de cimento ou menor será o consumo de cimento para uma resistência fixa. Em outras palavras, se você substitui parte da areia por pedrisco, você mantém o volume de concreto constante, mas aumenta a resistência, porque a argamassa fica mais rica, ou seja, tem menos areia em relação ao cimento comparando com a situação anterior. Porém, se você tem um volume de concreto e adiciona mais pedrisco, aumenta o volume da mistura e com isto reduz o consumo de cimento. A resistência praticamente não se altera porque o que determina a resistência é a argamassa, e não se mexeu na qualidade da argamassa. A alteração foi feita no teor de argamassa que foi diminuído e isto vai certamente alterar a trabalhabilidade da mistura, mas não deve alterar a resistência (FERNANDES, 2012).

2.4.2.3. Agregado Misto

Em determinadas regiões, pedreiras fornecem uma mistura balanceada de agregados miúdos e graúdos para produção de artefatos de concreto. Quando esta mistura possui pouca variação granulométrica, pode se tornar uma grande ajuda à indústria, pela possibilidade de utilizar apenas um agregado. Porém, a utilização de misto na produção, deve ser acompanhada de constante

verificação da granulometria da composição, pois caso ocorram variações significativas, isso pode alterar drasticamente a resistência à compressão, ou a aparência das peças (FERNANDES, 2012).

2.4.2.4. Armazenamento dos agregados

O local de armazenagem deve ter acesso fácil e livre ao portão, facilitando a entrada de materiais, e prover igual acesso e mobilidade aos equipamentos que o transportarão ao silo. Além disso, os agregados não devem estar em contato com o solo, para evitar perdas ou o que seja misturado com entulhos. Recomenda-se também, que sejam separados por baias de blocos de concreto com 1,20 m de altura, com indicação clara do tipo de agregado armazenado na mesma (EQUIPE DE OBRA, 2011).

2.4.3. Relação água/materiais secos em concretos secos

Segundo Fernandes (2012), no concreto plástico, utilizado para a fabricação de pré-moldados, a preocupação do controle de qualidade é reduzir a água de amassamento, pois o profissional que molda as peças tende a utilizar sempre uma quantidade maior do que a necessária, a fim de obter maior trabalhabilidade na mistura, facilitando o manuseio e adensamento.

Porém, quando está se produzindo vibroprensados com concreto seco, a maioria dos erros está relacionada à quantidade insuficiente de água, traduzindo-se em um adensamento inadequado da peça. A quantidade adequada de água deve proporcionar à mistura coesão de maneira que não provoque quebra ou desforma da peça, além de não grudar a mesma na chapa. Quando atinge-se a quantidade ideal de água da peça, a chamamos de umidade ótima (FERNANDES, 2012).

Nota-se então, de onde vem a diferença de desempenho entre equipamentos de grande porte, que proporcionam misturas até mais 98% compactas utilizando menor quantidade de água, e equipamentos de menor capacidade de adensamento, que necessitam empobrecer a pasta adicionando mais água para conseguir a compacidade adequada para o concreto (FERNANDES, 2012).

Além disso, quando utiliza-se a vibroprensa para produção de peças com misturas mais secas, a mesma pode dar uma falsa sensação de rendimento, por estas estarem mais soltas e preencherem os moldes com mais facilidade. Porém, por resistirem ao processo de compactação, as peças produzidas nesta situação tendem a exigir equipamento com maior energia, para que não apresentem elevada porosidade, e conseqüentemente menor resistência mecânica (FERREIRA, 1991, apud OLIVEIRA, 2004).

Segundo Tango (1994), pode-se aferir se a quantidade de água do concreto seco está correta com um teste simples, conhecido como “teste da pelota”, no qual é feita a moldagem de uma pequena bola da mistura após a mesma sair do misturador, e soltando-a. No caso da palma da mão apresentar-se levemente úmida, esta é então, a quantidade de água está correta (umidade ótima). Caso a palma da mão esteja seca ou suja com cimento, é recomendado aumentar ou diminuir a água, respectivamente.

2.4.4. Aditivos Químicos

A quantidade de água no concreto atua diretamente na facilidade de adensamento das peças, uma vez que misturas mais plásticas necessitam de menos energia de compactação. Nesse sentido, o aditivo plastificante atua lubrificando as partículas, facilitando obtenção de misturas com maior trabalhabilidade, melhorando o acabamento das peças sem necessidade de aumentar a relação água/cimento (FERNANDES, 2012).

Segundo a ABNT NBR 11768 (1992), aditivos são produtos que adicionados em pequenas quantidades à concretos de cimento Portland modificam suas propriedades, no sentido de adequá-las a determinadas condições.

Os aditivos variam de tensoativos, sais solúveis e polímeros a minerais insolúveis. As finalidades para as quais eles são geralmente empregados no concreto incluem a melhora da trabalhabilidade, aceleração ou aumento do tempo de pega, controle do desenvolvimento da resistência, e melhora da resistência à ação do gelo, à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado, e a soluções ácidas e sulfatadas (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Para peças concreto seco, torna-se essencial o uso de aditivos, para garantir impermeabilidade e coesão da peça, sem o aumento da relação água/cimento. Para isto, usam-se aditivos tensoativos, surfactantes incorporadores de ar ou redutores de água (MARCHIONI, 2012)

Os incorporadores de ar são geralmente compostos de sais de resinas de madeira, materiais proteicos e ácidos de petróleo, além de alguns detergentes sintéticos. Sendo sais quando usados com função plastificantes (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Ao ser adicionado ao concreto, esse aditivo atua formando, no concreto, bolhas de ar que não se aglutinam formando bolhas maiores que, tenderiam a escapar da pasta (GIAMUSSO, 1992).

O teor de adição varia conforme a marca, mas em geral, os aditivos existentes atualmente no mercado, tem uma indicação de 0,2% sobre a massa de cimento, adicionado por último na mistura, e diluído em água (FERNANDES, 2012).

Segundo Marchand (1998), para incorporar e estabilizar as bolhas de ar dentro de concretos secos é necessário alterar a sequência da mistura, o que resulta em perda de eficiência da produção, ou empregando-se misturadores de alta eficiência. Caso isso não ocorra, os incorporadores conseguem apenas estabilizar as microbolhas (entre 2 e 10 μM), tornando assim uma alternativa inviável o uso deste aditivo.

Já os aditivos plastificantes, também conhecidos como redutores de água, tem a função de melhorar a plasticidade da mistura, possibilitando a utilização de uma quantidade reduzida de água, que é o caso do concreto seco (GIAMUSSO, 1992).

Certas substâncias com moléculas muito longas e polares, se fixam com a extremidade negativa sobre a superfície das partículas do cimento, e com as extremidades opostas, voltadas para fora, carregadas positivamente, fazendo com que haja repulsão entre as partículas impedindo-as de aglutinar. Isso faz com que as

partículas, embora fiquem bem próximas umas das outras, não cheguem a se tocar, não expulsando as camadas de água de pequena espessura que as separa. Esse efeito pode ser considerado semelhante a uma lubrificação, e provoca uma redução geralmente de 6% a 8% de água no concreto, ou proporcionar aumento de plasticidade nessa mesma proporção. Os teores utilizados normalmente se situam entre 0,2% e 0,5% (GIAMUSSO, 1992).

Além disso, existem redutores de água formados por polícarboxílicos à base de éter, conhecidos como superplastificantes. Ao serem adsorvidos, eles atuam conferindo uma forte carga negativa às partículas de cimento, diminuindo a tensão superficial da água circundante e elevando a fluidez da mistura (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (2013), a redução da quantidade da água de amassamento, pelo uso dos aditivos, varia entre 5 e 15%, que em partes é devido ao ar incorporado introduzido pelo aditivo. A diminuição real da água de amassamento depende do teor de cimento, do tipo de agregado e da presença ou não de pozolana e agentes incorporadores de ar.

A quantidade adicionada à mistura, varia conforme a marca utilizada, mas recomenda-se de 0,2% a 0,4% do peso de cimento. Recomenda-se também, a diluição do produto em água à razão de 1:9, adicionado à mistura após a entrada principal de água, praticamente no final do processo de homogeneização. Não é recomendado dosar o aditivo com o material ainda seco, especialmente ao cimento, pois o mesmo será rapidamente absorvido e terá seu efeito consideravelmente reduzido (FERNANDES, 2012).

2.4.5. Pigmentos

O concreto colorido com adição de pigmentos especiais, se dosado corretamente, não sofre alterações em seu desempenho, representando de 4 a 6% sobre o peso do cimento utilizado na dosagem para obtenção de peças para pisos intertravados (CORSINI, 2011).

Segundo Levitt (1982), pigmentos caracterizam-se como pós extremamente finos ou em suspensão aquosa, inertes aos materiais constituintes do concreto, que ao serem aplicados, proporcionam ao produto uma coloração específica, dividindo-se em naturais quando são provenientes de óxido de ferro, e sintéticos quando produzidos a partir de sais de ferro (apud OLIVEIRA, 2004).

O princípio de funcionamento dos pigmentos consiste em recobrir as partículas de cimento, e uma vez adicionada uma quantidade de pigmento tal que tenha envolvido todas as partículas de cimento, o aumento no teor desse produto não implicaria no incremento na profundidade de cor (DOWSON, 1998 apud OLIVEIRA, 2004).

2.5. EQUIPAMENTOS E PRODUÇÃO

Devido à vasta diversidade de máquinas no mercado, torna-se inviável uma padronização nos produtos derivados de cimento, sendo necessário um estudo individual do custo x benefício do equipamento a ser adquirido. Um exemplo disso, são as vibroprensas hidráulicas, cujo preço das mais sofisticadas pode chegar a R\$ 1.000.000,00 (só a máquina), e os equipamentos manuais, que custam cerca de R\$ 10.000,00. Além disso, a capacidade produtiva de um equipamento manual é de cerca de 10% da capacidade de uma vibroprensa hidráulica automatizada, traduzindo-se em uma enorme dificuldade de competição no mercado (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo o autor supracitado, além do custo da máquina, a empresa deve ter preocupação com o espaço para estocar o que foi produzido, já que a produção é acelerada, e necessita de elevado fluxo de carga no pátio industrial. Além disso, médias e grandes empresas devem possuir equipamentos auxiliares como empilhadeiras para organizar o estoque, e pá carregadeira para alimentar o silo de agregados.

2.5.1. Silo de agregados

De enorme importância para indústrias de médio e grande porte, o silo, ou usina dosadora gravimétrica, é o local de armazenagem dos agregados miúdos e graúdos. Por possuírem balanças controladas por CLP (controlador lógico programável), os silos possuem um baixíssimo desvio padrão na pesagem dos agregados, o que aumenta a uniformidade do concreto produzido, e potencialmente melhora a precisão e o controle da produção das peças (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo o referido autor, devido à elevada capacidade de armazenamento do silo, faz-se necessária uma constante verificação de umidade dos agregados, bem como correção do traço de acordo com a mesma. Para mitigar este problema, podem ser instalados umidímetros no mesmo, o que automatizaria este processo e diminuiria eventuais erros. A Figura 6 mostra o silo ainda em fase de instalação, podendo ser vista logo abaixo a esteira dos agregados.



Figura 6 Silo de armazenamento de agregados
Fonte: Autoria própria (2015)

2.5.2. Esteira do agregado

Sistemas de transporte automatizados usualmente contam com diversas maneiras de transportes do material, sendo a esteira a mais utilizada, pela sua eficiência e fácil manutenção. A esteira dos agregados é munida de células de carga e possui tanto a função de pesar quanto a de transportar os materiais ao misturador.

2.5.3. Misturador

Podem ser biplanetários do tipo helicoidal ou bateadeira, ou betoneiras tradicionais, que praticamente inviabilizam a produção de *pavers* e blocos, uma vez que seu sistema mistura por gravidade, o que acaba empelotando o concreto seco no fundo do tambor. O tempo de homogeneização da mistura, conforme instruções de fabricantes é de aproximadamente 180 segundos. Além disso, também podem ser classificados quanto à posição do eixo, sendo utilizados para produção de artefatos de concreto os misturadores de eixo horizontal (FERNANDES, 2012).

O misturador de eixo vertical, também recomendado para o uso em misturas de solo cimento, possui resultados superiores aos da betoneira. No caso dos concretos vibroprensados do tipo farofa e que utilizam misturadores horizontais, a água deve ser adicionada somente quando a mistura já se encontra totalmente homogeneizada (DI GREGORIO, 2012).

A adição da água ao misturador também deve ser feita de maneira automatizada, uma vez que a alteração na umidade é a principal causa da variação de densidade das peças, e conseqüentemente, na uniformidade de resistência à compressão do lote. Durante a adição de aditivo, caso a mesma não seja feita de forma mecanizada, deve haver um grande cuidado, com a devida correção de traço feita em relação a água que será usada para diluir o mesmo (FERNANDES, 2012). A Figura 7 mostra um misturador de eixo horizontal.



Figura 7 Misturador horizontal

Fonte: A autoria própria, 2015.

2.5.4. Esteira do concreto

Concluído o processo de mistura, o concreto é despejado na esteira do concreto, de onde é conduzido até as formas da vibroprensa. É muito importante, que durante a instalação a esteira seja posicionada corretamente, garantindo que o ponto de descarga da mesma esteja na posição correta sobre a vibroprensa, e que a extremidade oposta esteja imediatamente abaixo da porta do misturador. Não seguir estas recomendações pode causar variações indesejadas na densidade, e consequentemente, da resistência das peças em uma mesma tábua (FERNANDES, 2012).

2.5.5. Bandejas ou paletes

Simultaneamente à alimentação da vibroprensa com o material vindo da esteira de concreto, a esteira do “Rack System” conduz as bandejas, ou paletes, posicionando-as uma a cada vez, entre o molde e contramolde, pois elas funcionam

como fundo de apoio das peças que são moldadas. Em fábricas pequenas, tais chapas são feitas de madeira maciça ou compensado, porém, buscando uma maior vida útil, indústrias com maior investimento utilizam compensado naval ou chapas de aço. Uma boa bandeja não deve empenar, deformar com o peso, descascar ou deteriorar-se com a umidade. Quanto maior a rigidez da bandeja, maior será a energia de vibração transmitida para as peças, por isso recomenda-se chapas de no mínimo 20 mm de espessura. Para aumentar a vida útil das chapas, deve-se armazená-las fora do contato com o chão ou parede, e se possível, protegidas por lona ou plástico (FERNANDES, 2012).

A Figura 8 mostra o armazenamento de chapas de compensado naval.



Figura 8 Chapas de compensado naval armazenadas

Fonte: Autoria própria (2015)

2.5.6. Rack System

Conhecidos como “*rack system*”, o sistema de esteiras automatizadas da vibroprensa é vantajoso, tanto para conduzir as chapas ao molde e contramolde, quanto para descarregar as peças prontas, para que estas possam ser conduzidas à cura. Além disso, o sistema ainda conta com a escova giratória e um jato de ar

comprimido, que retiram eventuais restos de agregado que possam vir à ficarem depositados sobre a peça após a moldagem, como mostrando na Figura 9. (FERNANDES, 2012).



Figura 9 Rack System
Fonte: Autoria própria (2015)

2.6. VIBROPRENSA HIDRÁULICA

Por sua elevada energia de compactação, as vibroprensas hidráulicas dominaram o mercado de artefatos de concreto, uma vez que sua capacidade de produção e qualidade das peças produzidas é superior aos equipamentos com menor automatização. Além disso, equipamentos automatizados proporcionam um grau de confiabilidade maior, e conseqüentemente maior precisão na dosagem e produção de artefatos (FERNANDES, 2012).

A vibroprensa, porém, tida como somente um equipamento, é formada por diversas partes, cada uma com função e necessidade de manutenção específica. Em geral, o equipamento é composto de: silo de armazenamento, gaveta, sistema de compressão, forma (molde de contramolde), sistema de vibração (OLIVEIRA, 2004). A Figura 10 mostra uma representação esquemática de uma vibroprensa hidráulica.

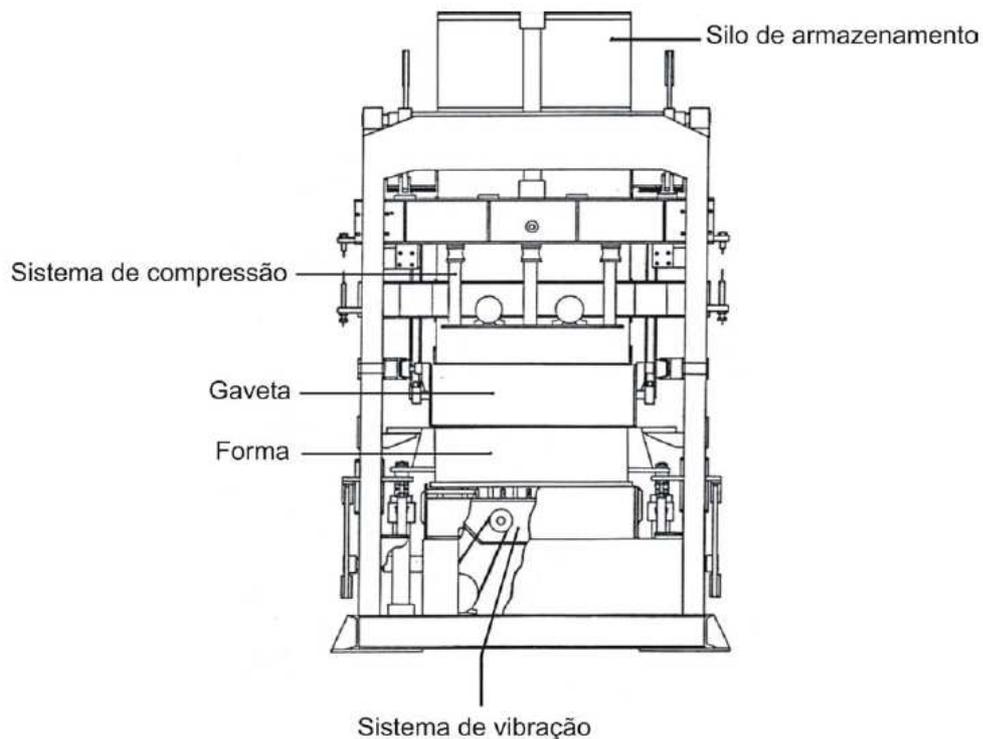


Figura 10 Representação esquemática de partes de uma vibroprensa
Fonte: Oliveira (2004)

2.6.1. Silo de Armazenamento de concreto

Após sair do misturador, o concreto seco é levado pela sua esteira inclinada até a vibroprensa, chegando à um compartimento na parte superior da mesma, de onde seguirá para a gaveta. Este compartimento tem volume variável, mas são desaconselháveis volumes muito grandes, pois quando o silo encontrar-se completamente cheio, se o volume, e conseqüentemente a massa forem grandes, o concreto que encontra-se na parte inferior sofrerá uma compactação maior, resultando

em preenchimento desigual da gaveta e das formas, traduzindo-se em diferenciação de massa de peças em uma mesma chapa (OLIVEIRA, 2004).

2.6.2. Gaveta

Com função de transporte, a gaveta é constituída por dois compartimentos, sendo um para receber o concreto proveniente do silo de armazenamento, para posteriormente transportá-lo às formas, e o compartimento do motor. Dentro do equipamento, ainda existe um sistema de cilindros, responsáveis por revolver o material no seu interior, facilitando o preenchimento do molde (OLIVEIRA, 2004).

Ainda segundo o referido autor, a gaveta executa movimentos horizontais, ocorrendo o preenchimento da mesma quando encontra-se na posição recuada, como mostrado na Figura 11. Completado o preenchimento, a mesma desloca-se para a posição imediatamente superior ao molde, preenchendo-o, e fechando a parte inferior do silo de armazenamento. Além disso, a gaveta dispõe de raspadores de borracha, cuja função primordial é limpar molde e contramolde, tirando o excesso de material sobre os mesmos, no momento de retorno da gaveta.

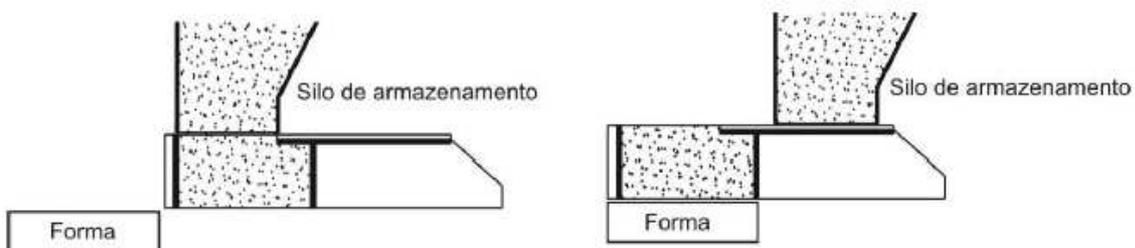


Figura 11 Mecanismo de funcionamento da gaveta
Fonte: Oliveira (2004)

2.6.3. Prensagem ou compactação

Assim como o nome diz, este é o sistema responsável pela aplicação de carga no concreto que está no molde, dando assim forma à peça desejada (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Di Gregorio (2012), ao escolher o sistema de prensagem, deve-se atentar para a produtividade proporcionada por este, a dureza dos moldes, a energia de compactação e a qualidade da assistência técnica do fabricante.

Segundo Fernandes (2012), para equipamentos pneumáticos e hidráulicos (mais eficientes), o teor de cimento pode cair até 7%, e uma produtividade cerca de seis vezes maior. Na vibroprensa, a prensagem é conciliada com a vibração sincronizada (apud, DI GREGORIO, 2012).

2.6.4. Molde e contramolde

Os moldes e contramoldes são as partes da vibroprensa que efetivamente dão forma às peças desejadas, determinando todas as suas dimensões. Devido à sua importância no equipamento, e elevado preço, seu manuseio e estado de conservação devem ser constantemente inspecionados. Sua durabilidade é influenciada por vários fatores, sendo os principais: o tipo de aço utilizado para sua confecção, se existiu ou não um processo de endurecimento, podendo este ser têmpera ou cimentação, e também a abrasividade do agregado utilizado. Quanto mais duro for o agregado, como aqueles que possuem grande quantidade de quartzo em sua composição, maior é o desgaste do molde e contramolde, e conseqüentemente, menores serão suas vidas úteis. Um molde utilizado com agregados demasiadamente abrasivos, em condições normais de uso, dura cerca de 50.000 ciclos, enquanto outro, feito com aço mais resistente, e com agregados com menor dureza, pode chegar à 100.000 ciclos (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo o autor, alguns moldes já vem com sistema “colmeia”, que possibilita a troca apenas de partes desgastadas, reduzindo o custo de manutenção

e ajuste equipamento. Quando os moldes são adquiridos em empresas terceirizadas, deve-se tomar cuidado com as dimensões, o encaixe, e a dureza do aço utilizado na sua confecção, a fim de evitar transtornos futuros. A Figura 12 mostra molde e contramolde instalados em vibroprensa, durante o processo de fabricação de peças de concreto.



Figura 12 Molde e contramolde instalados para fabricação de *pavers*
Fonte: Autoria própria (2015)

2.6.5. Vibração

O sistema de vibração unidirecional vertical empregado em máquinas vibroprensas é composto de mesas vibratórias e os sistemas de vibração aplicados diretamente ao molde.

O sistema com mesas vibratórias pode trabalhar com quatro eixos excêntricos (dois eixos sincronizados no sentido horário e dois eixos no sentido anti-horário), sendo que nesses casos, os motores elétricos, responsáveis pelo giro das massas excêntricas permanecem ligados (girando) durante toda a produção. O desbalanceamento do sistema é feito através de um inversor de frequência, que retarda e acelera os pares de eixos excêntricos, de tal forma que ora os dois pares de eixos encontram-se sincronizados e alinhados na mesma posição, e ora os pares encontram-se sincronizados em posições opostas (HOLTHAUS, 1988).

A mesa vibratória apresenta a vantagem de empregar formas menos robustas, conseqüentemente mais leves, o que facilita a instalação. Além disso, esse sistema caracteriza-se por transmitir, uniformemente, a vibração por toda a extensão da forma. Entretanto, devido à dificuldade de acesso à mesa vibratória, quando ocorrem problemas no motor, correias ou nos eixos excêntricos, o tempo de parada de manutenção é longo, pois, para ter acesso ao sistema de vibração, é necessária a remoção da forma (OLIVEIRA, 2004).

2.7. CICLO DE PRODUÇÃO DAS VIBROPRENSAS

Segundo Oliveira (2004), antes de se ter início a produção das peças, deve-se certificar sobre a devida configuração dos chamados “tempos de produção” do sistema de vibrocompressão, uma vez que as suas regulagens influenciam diretamente tanto na resistência à compressão, quanto na qualidade do produto feito no equipamento.

2.7.1. Tempo de alimentação

Caracteriza-se como o tempo em que os agitadores estão ligados, transportando material da gaveta, que está sobre o molde, preenchendo-o com concreto. A vibração é ligada simultaneamente à alimentação do molde, facilitando o

preenchimento do mesmo, sendo desligada quando a gaveta está recuando, evitando assim preenchimento desigual e segregação do agregado graúdo na peça. O tempo de alimentação é o único regulável, sendo o maior responsável pelo grau de compacidade final do artefato, uma vez que quanto maior o período de preenchimento do molde, maior a quantidade de material, conseqüentemente menor o índice de vazios da peça.

2.7.2. Tempo de vibrocompressão

Define-se como tempo de vibrocompressão, como o tempo de descida do contramolde, estando o sistema de vibração ligado, do contato do mesmo com o concreto até sua estabilização, definindo a espessura final da peça. Normalmente, esse tempo fica no intervalo de 3 a 6 segundos, variando de acordo com a capacidade do equipamento, e dos agregados utilizados. Para fins de controle de qualidade, o tempo de vibrocompressão deve ser o menor possível, evitando peças muito pesadas, que apesar de apresentarem maior resistência, consomem mais material do que o necessário.

3. METODOLOGIA

O trabalho tem como objetivo realizar um comparativo técnico econômico entre dois métodos de dosagem de concreto seco empregados na produção de peças de concreto intertravadas para pavimentação (*paver*).

Para a elaboração do presente trabalho, primeiramente foi feita revisão bibliográfica sobre o tema, usando como base livros, teses, e artigos científicos. De posse do devido conhecimento, foi definida uma indústria de artefatos de concreto no município de Vitorino como unidade de pesquisa, onde foi realizada a produção das peças usadas no presente trabalho, cuja produção é totalmente automatizada utilizando uma vibroprensa hidráulica. A escolha por esta empresa foi feita pelo fato da mesma ainda estar em fase inicial de produção, o que facilitaria o estudo.

As peças utilizadas no estudo são blocos intertravados de concreto para pavimentação (*pavers*) com dimensões 20cmx10cmx6cm, produzidas utilizando uma dosagem empírica cujo traço inicial foi fornecido pelo fabricante da vibroprensa, e peças de mesmas dimensões produzidas através de uma dosagem racional.

Após saírem da linha de produção, as amostras foram devidamente embaladas, evitando a troca de umidade e calor com o ambiente, identificadas, e submetidos aos testes resistência à compressão e absorção de água e análise dimensional, tidos como obrigatórios pela ABNT NBR 9781 (2013), realizados nas dependências do laboratório de materiais de construção, do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

De posse dos resultados, foram calculados os custos de produção de cada traço, relacionado com sua qualidade e aspecto visual.

Na sequência, foram produzidas na vibroprensa amostras utilizando-se a dosagem de concreto seco empregando o método proposto por Rodrigues (1995), pela sua facilidade e rapidez de execução, usando também características propostas por outros autores a fim de aprimorar o método. Assim como nos traços obtidos empiricamente, as amostras produzidas por este método também foram submetidas aos ensaios da norma supracitada, bem como calculado seu custo de produção, e averiguada sua qualidade superficial.

De posse dos dados obtidos, foi estabelecido um comparativo entre as duas metodologias de dosagem, avaliando o impacto que a utilização da dosagem racional utilizada traria para a indústria, se utilizada desde o início da produção.

3.1. ENSAIOS EXIGIDOS PELA ABNT NBR 9781 (2013)

3.1.1. Resistência à compressão

A ABNT NBR 9781 (2013), estabelece para cada tipo de tráfego, uma exigência mínima de resistência à compressão das amostras, sendo 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e comerciais de linha, e 50 MPa em situações em que ocorre o tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

Ainda segundo a referida norma, para a realização do ensaio os *pavers* devem estar devidamente capeados e saturados, e o ensaio deverá ser feito em prensa, com a utilização de placas auxiliares com diâmetro 85 mm (com tolerância de 0,5 mm) e espessura mínima de 20 mm, dividindo-se o valor de carga que provocou a ruptura da amostra saturada, pela área de carregamento. Em seguida, a tensão obtida (expressa em Mpa) deverá ser multiplicada pelo fator multiplicativo p , apresentado na tabela 6.

Espessura nominal da peça mm	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Tabela 6 - Fator Multiplicativo P
Fonte: ABNT NBR 9781 (2013).

Feito isso, obtêm-se a resistência característica à compressão do lote de *pavers* estimada ($f_{pk,est}$) através da Equação 04:

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s$$

Equação 04

Onde f_p é a resistência à compressão média das peças, s é o desvio padrão, obtido pela Equação 05:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Equação 05

Onde, por sua vez, f_{pi} é a resistência individual da peça. Por sua vez, t e n são o coeficiente Student e o número de amostras, respectivamente, vindos da tabela 7.

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Tabela 7 - Coeficiente Student
Fonte: ABNT NBR 9781 (2013).

A Figura 13 mostra um bloco de concreto para pavimentação (*paver*) sendo submetido à ensaio de resistência à compressão.



Figura 13 Ensaio de resistência à compressão
Fonte: Autoria própria, 2015.

3.1.2. Absorção de água

Representa o incremento de massa das amostras devido sua porosidade, em relação à sua massa seca. O ensaio consiste na saturação das peças em água durante ao menos 24 horas, e de posse de sua massa seca, aferir a massa saturada, e repetir este último procedimento à cada duas horas, registrando assim a diferença de massa, até que esta seja inferior à 0,5%, e aplicando aos dados obtidos a Equação 06:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Equação 06

Onde A é a absorção de água, expressa em porcentagem, e m_2 e m_1 são suas massas saturada e seca, respectivamente. A Figura 14 mostra amostras em repouso entre os intervalos dos ensaios.



Figura 14 Ensaio de absorção de água
Fonte: Autoria própria (2015)

3.1.3. Análise Dimensional

De acordo com a ABNT NBR 9781 (2013), as dimensões e tolerâncias dos *pavers* devem atender alguns requisitos, como descritos a seguir:

- A medida nominal máxima de seu comprimento não poderá exceder 250 mm;
- Medida real mínima da largura de 97 mm na área destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão;
- A medida de espessura deve ser expressa em múltiplos de 20 mm, sendo a dimensão mínima 60 mm;
- A tolerância dimensional, para comprimento, largura e espessura é de 3 mm.

Além disso, As peças devem obrigatoriamente possuir espaçadores, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 15953 (2011) quanto à espessura dos mesmos.

A presença de chanfros não é obrigatória, porém, caso existam, os mesmos devem apresentar tanto na projeção horizontal quanto na vertical, dimensão mínima de 3 mm e máxima de 6 mm.

As arestas devem ser regulares, de modo a garantir que a peça de concreto tenha ângulo de 90° em relação à superfície plana à qual está apoiada.

3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.2.1. Equipamento de vibrocompressão

O equipamento utilizado para as moldagens das amostras de dimensão 10cmx20cmx6cm, foi a vibroprensa automática HZ-06, com capacidade de produção diária de 32.000 peças, ou 640 m², considerando uma jornada de funcionamento de oito horas, excluindo-se tempo gasto com manutenção, limpeza, e outros. As Figura 15 e 16 apresentam a ficha técnica do equipamento, e a Figura 17 mostra um esquema ilustrativo da linha de produção à qual o mesmo está submetido (H-ZEN, 2014).

CARACTERÍSTICAS	
Máquina automática para fabricação de artefatos de cimento	
Sistema de vibração acionado por motor hidráulico	
Equipada com alimentador de chapas e esteira extratora automáticos	
Acionamentos Hidráulicos controlados com comando CLP e IHM programável	
Gaveta de alimentação com agitadores internos	
Regulador de altura da gaveta com acionamento elétrico	
Silo de estocagem de material com capacidade de 0,7 m ³	
Sensor de altura para calibrar os blocos	
Equipamento adequado às exigências da ABNT NR 12	

Figura 15 Características Técnicas HZ-06

FONTE: Catálogo do Fabricante H-Zen Automação Industrial LTDA (2014).

DETALHES TÉCNICOS	
Dimensões do equipamento (LxAxC)	4000 x 2900 x 8000 mm
Tempo do Ciclo	15 a 20 segundos
Tamanho do Palete	25 x 620 x 920 mm
Peso	4.000 kg
Potência	55 CV

Figura 16 Detalhes Técnicos HZ-06

FONTE: Catálogo do Fabricante H-Zen Automação Industrial LTDA (2014).

LINHA DE PRODUÇÃO AUTOMÁTICA

LÍNEA DE PRODUCCIÓN AUTOMÁTICA

HZ-06



1. Silo Cimento 50 Toneladas;
2. Carregadeira;
3. Dosador de Agregados;
4. Misturador MP-300;
5. Esteira Transportadora TR-060;
6. Vibro Prensa HZ-06;
7. Cabine de comando.

8. Elevador para Rack;
9. Rack;
10. Descarregador de Rack;
11. Esteira de Retorno;
12. Virador de Paletes;
13. Empilhadeira;

Figura 17 Linha de Produção Automatizada
FONTE: Catálogo do Fabricante H-Zen Automação Industrial LTDA (2014).

3.3. Fluxograma

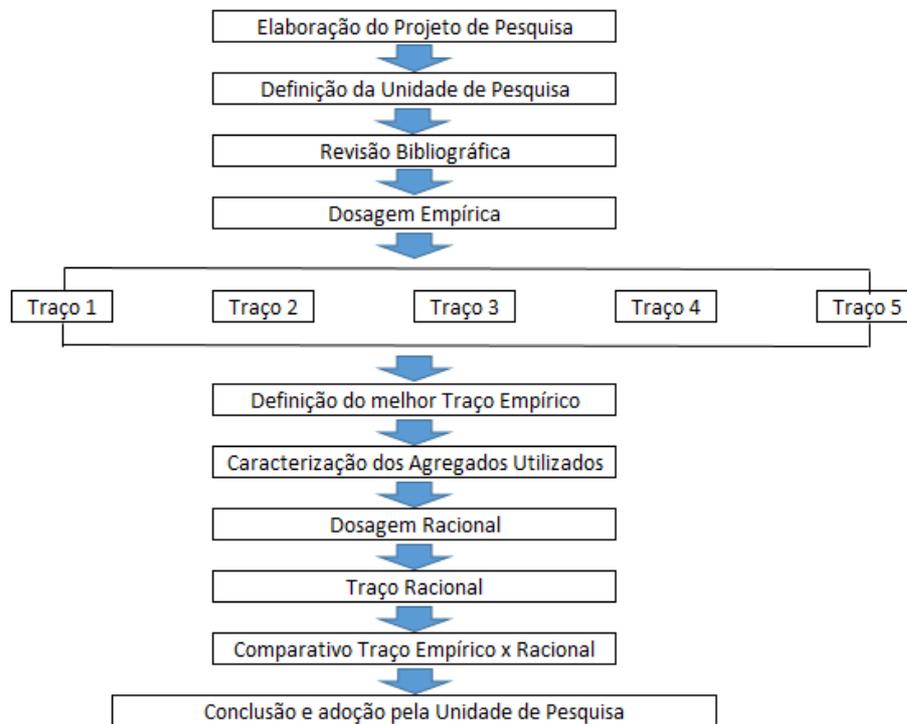


Figura 18 Fluxograma de atividades
Fonte: Autoria própria (2015)

4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

O desenvolvimento experimental do presente trabalho foi composto de algumas etapas importantes. Na primeira, foi realizada uma pesquisa na região, para avaliar os materiais necessários para a produção das peças disponíveis na região e seus fornecedores. Posteriormente, acompanhou-se o processo de produção dos blocos de concreto intertravado, em um período no qual foi possível coletar amostras de cinco traço empíricos diferentes no momento em que as mesas saíram do equipamento, e ensaiá-las conforme exigido pela ABNT NBR 9781 (2013).

Paralelamente à realização dos ensaios laboratoriais dos últimos lotes da dosagem empírica, iniciou-se a caracterização dos agregados, para melhor compreender como os mesmos se comportaram na produção das peças produzidas empiricamente, e essencialmente para poder realizar a dosagem racional com um controle maior.

Uma vez que as características relevantes dos materiais utilizados estavam disponíveis, foi calculado e determinado o traço racional, sendo este aplicado na indústria para produzir as peças e estas serem posteriormente ensaiadas conforme a norma supracitada.

Deste modo, com os dados obtidos nos ensaios descritos anteriormente, foi possível realizar um estudo comparativo entre as amostras produzidas pelos dois métodos de dosagem.

Por fim, através de tal comparativo, demonstrou-se a vantagem que a unidade de pesquisa teria, caso a dosagem racional fosse desenvolvida e aplicada na indústria desde o início de suas atividades.

É importante salientar, que neste estudo, para padronizar a produção e não gerar resultados errôneos, os tempos de produção foram fixados em 4 segundos para o tempo de vibração, e 14 segundos para o tempo de gaveta.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS UTILIZADOS

O conhecimento dos materiais utilizados na produção de blocos intertravados de concreto é de suma importância não só para a para a obtenção de peças com melhor qualidade e menor custo, mas também para que se possa manter um controle sobre a manutenção das partes do equipamento de vibrocompressão com o qual o mesmo entra em contato.

Tendo isto em vista, foram caracterizados os agregados utilizados na unidade de pesquisa selecionada. No caso em questão, a referida caracterização refere-se às seguintes etapas: a) composição granulométrica conforme a ABNT NBR 7212 (1987); e b) determinação da massa específica dos grãos conforme a ABNT NBR 9776 (1987).

4.1.1. Composição granulométrica

Para obtenção da curva granulométrica de cada agregado, foram seguidas as recomendações da ABNT NBR 7217 (1987), tendo esta sido gerada utilizando-se um conjunto de peneiras metálicas sucessivas da série normal de dimensões 4,8 mm à 0,150 mm. Os resultados obtidos nos ensaios dos agregados estão apresentados em gráficos do tipo formato abertura de peneiras x porcentagem de material retida, para facilitar a visualização

4.1.2. Massa específica dos grãos

Caracterizada pela ABNT NBR 6502 (1995) como a relação entre a massa dos grãos, e o volume ocupado pelos mesmos, sem considerar ar, ou água entre os mesmos. Existem várias maneiras de se determinar a massa específica de agregados,

e no presente trabalho foi utilizado o método do picnômetro de acordo com a ABNT NBR 6457 (1986).

Para dar início à execução do ensaio, foram tomadas 3 amostras de aproximadamente 100 g do referido agregado, sendo secas em estufa à temperatura média de 100 ° C durante 24 horas.

Passado este tempo, as amostras foram pesadas em balança com precisão de 0,1 g.

Assim, foi tomado um picnômetro de volume 500 ml totalmente cheio de água, e medida sua massa.

Posterior à isto, a amostra do agregado em questão é introduzida no picnômetro, com seu volume parcialmente cheio de água, utilizando um funil de vidro. Após eliminação das bolhas de ar e estabilização da mistura, o picnômetro tem seu volume completado com água.

Assim, novamente com auxílio da balança, é tomada a massa do conjunto picnômetro + água + amostra, como é apresentado na Figura 19. Considerando a densidade da água igual a 1 g/cm³, conclui-se que a variação de massa entre os dois sistemas corresponde ao volume deslocado, e conseqüentemente, ao volume ocupado pela amostra de agregado.

Assim, obteve-se a massa específica dos grãos de cada agregado, dividindo-se a massa da amostra, pelo seu volume, através da Equação 07:

$$D = \frac{P}{(P_t - P_a)}$$

Equação 07

Onde:

P – Massa da amostra de agregado em gramas;

P_t – Massa do sistema picnômetro+água+amostra em gramas;

P_a – Massa do sistema picnômetro+água em gramas.



Figura 19 Ensaio de Massa específica
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2. AGREGADOS CARACTERIZADOS

Os agregados utilizados tanto na produção empírica, quanto na produção utilizando-se a dosagem racional com exceção da areia natural, foram selecionados entre dois fornecedores diferentes, a fim de se obter-se peças com qualidade maior. Os fornecedores de areia artificial, pó de pedra e pedrisco são todos do sudoeste do Paraná.

4.2.1. Areia Natural

No caso da areia natural, durante todo o trabalho foi utilizado material proveniente de um mesmo fornecedor, do município de União da Vitória, que apesar da distância, ainda assim tornava-se mais competitivo comparando-se aos fornecedores da região.

4.2.1.1. Composição granulométrica

A Figura 20 apresenta a distribuição granulométrica, classificando a areia como média segundo a ABNT NBR 6502 (1995), tornando-a viável para a produção de *pavers*, uma vez que Fernandes (2012) não recomenda o uso de areias muito grossas por influenciarem na compactação da peça e vida útil do molde, ou muito finas, estas possuem excesso de finos, que competiriam com o cimento na hidratação.

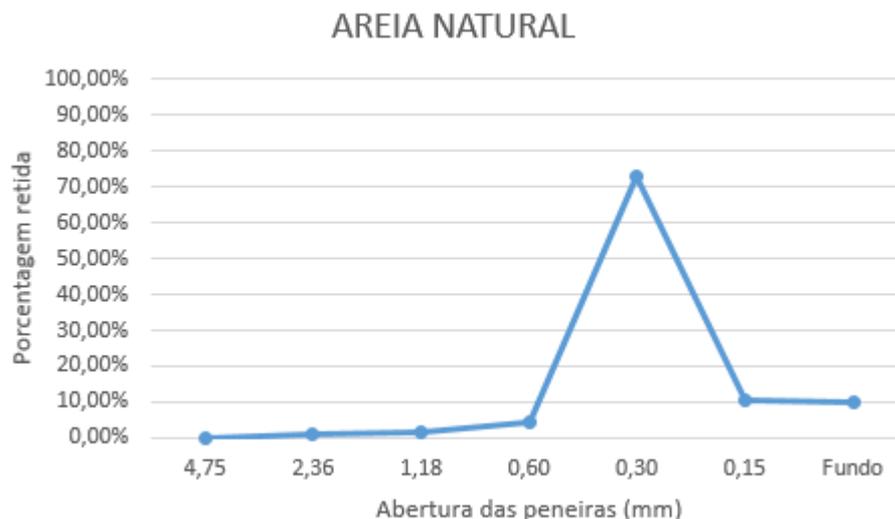


Figura 20 Curva granulométrica da areia natural
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.1.2. Massa específica

A massa específica foi obtida pelo ensaio do picnômetro, apresentado em 4.1.2, obtendo-se os dados a seguir. A tabela 8 apresenta dados obtidos na determinação da massa específica da areia natural.

DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA AREIA NATURAL		
Amostra = 100g	Picnômetro + Água (g)	Picnômetro + Água + Amostra (g)
Ensaio 1	614,26	681,37
Ensaio 2	614,26	670,80
Ensaio 3	614,26	676,88
Média	614,26	676,35
Massa específica (g/cm ³)	1610,6	

Tabela 8 - Massa específica dos grãos da areia natural
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.2. Pedrisco

No caso do pedrisco, havia opção de dois fornecedores da região, cujo custo por tonelada era o mesmo, porém, com características distintas. O material proveniente do Fornecedor 1, apresenta coloração mais escura em relação ao do Fornecedor 2, além de apresentar uma granulometria mais uniforme, o que o tornou mais interessante na escolha de agregados para o traço racional.

4.2.2.1. Composição granulométrica

A Figura 21 apresenta as curvas granulométricas dos pedriscos, provenientes dos dois Fornecedores utilizados no trabalho.

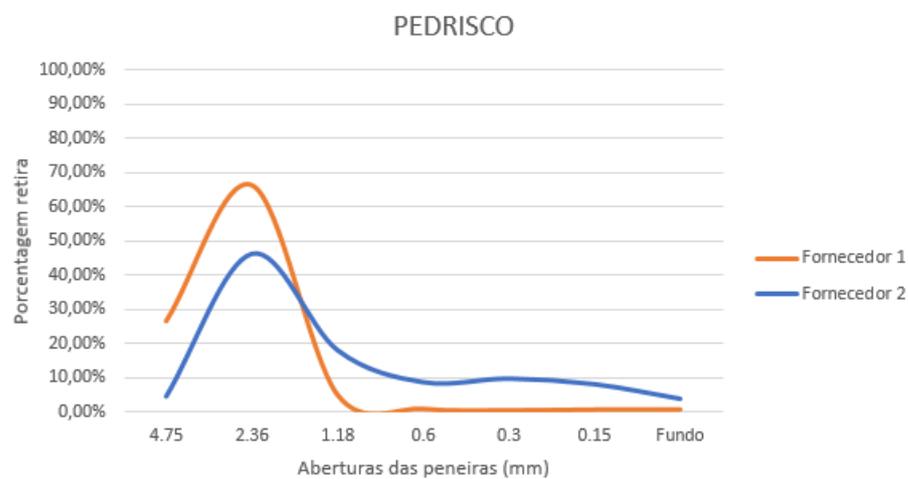


Figura 21 Curva granulométrica do pedrisco
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.2.2. Massa específica

Analogamente ao processo de obtenção da densidade real da areia natural, no caso do pedrisco a única diferença de cálculo, é a existência de material de fornecedores distintos. Os dados obtidos no ensaio são mostrados na tabela 9.

DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA PEDRISCO			
Amostra = 100g	Picnômetro + Água (g)	Picnômetro + Água + Amostra (g)	
		FORNECEDOR 1	FORNECEDOR 2
Ensaio 1	614,79	678,35	614,26
Ensaio 2	614,79	682,12	614,26
Ensaio 3	614,79	680,34	614,26
Média	614,79	680,27	680,11
Massa específica (g/cm ³)		1,5272	1,5309

Tabela 9 - Massa específica dos grãos de pedrisco
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.3. Areia Artificial

As areia artificiais utilizadas tanto na dosagem empírica quanto na racional também provinham dos mesmos dois fornecedores de agregados, e visto que a composição granulométrica dos dois materiais era semelhante, na dosagem racional optou-se pela utilização do Fornecedor 2 pelo seu custo ligeiramente menor, uma vez que foi notado na dosagem empírica que a diferença no produto final era a tonalidade da peça, um pouco mais escura quando se utilizava o agregado do Fornecedor 1.

4.2.3.1. Composição granulométrica

A Figura 22, apresenta a curva granulométrica das areias naturais provenientes dos Fornecedores disponíveis.

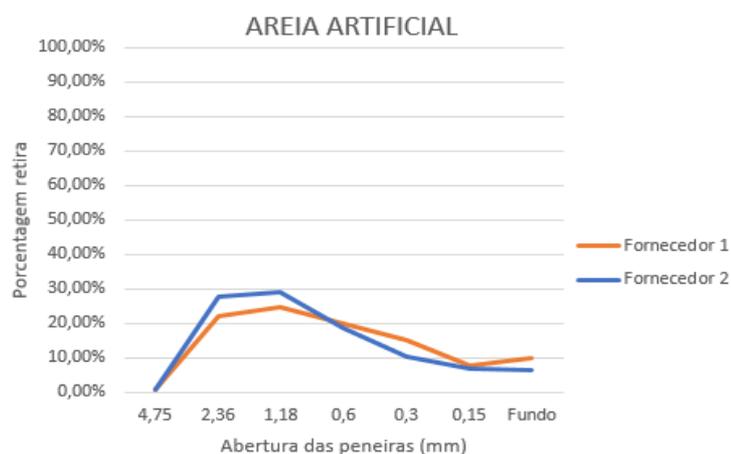


Figura 22 Composição granulométrica da areia artificial
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.3.2. Massa específica

De maneira análoga aos ensaios de massa específica anterior, são mostrados na tabela 10 os dados obtidos no ensaio realizado com as areias artificiais dos dois fornecedores de agregados.

DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA AREIA ARTIFICIAL			
Amostra = 100g	Picnômetro + Água (g)	Picnômetro + Água + Amostra (g)	
		FORNECEDOR 1	FORNECEDOR 2
Ensaio 1	614,26	680,76	682,91
Ensaio 2	614,26	677,23	681,45
Ensaio 3	614,26	680,30	676,12
Média	614,26	679,43	680,16
Massa específica (g/cm ³)		1,5344	1,5175

Tabela 10 - Massa específica dos grãos de areia artificial
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.4. Pó de pedra basáltica

Apesar de o fabricante da vibroprensa indicar o uso do pó de pedra basáltica na produção de *pavers*, o material foi apenas utilizado na dosagem das peças feitas com o traço inicial, uma vez que os resultados do ensaio de resistência mecânica à compressão serem considerados insatisfatórios pela ABNT NBR 9781 (2013). Sendo assim, até mesmo por questões de indisponibilidade do material na unidade de pesquisa, o mesmo não foi utilizado na dosagem racional proposta pelo presente trabalho.

4.2.4.1. Composição granulométrica

Ao visualizar a curva granulométrica do pó de pedra basáltica apresentada na Figura 23, nota-se uma excessiva quantidade de finos, que apesar de fornecerem um bom aspecto visual às peças, competem com o cimento durante a hidratação, prejudicando a resistência à compressão.



Figura 23 Composição granulométrica do pó de pedra basáltica
Fonte: Autoria própria (2015)

4.2.4.2. Massa específica

Os dados do ensaio de massa específica do pó de pedra são mostrados na tabela 11.

DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA PÓ DE PEDRA BASALTICA		
Amostra = 100g	Picnômetro + Água (g)	Picnômetro + Água + Amostra (g)
Ensaio 1	615,50	677,53
Ensaio 2	615,50	683,27
Ensaio 3	615,50	679,50
Média	615,50	680,10
Massa específica (g/cm ³)	1547,98	

Tabela 11 - Massa específica pó de pedra
Fonte: Autoria própria (2015)

4.3. CÁLCULO DO CUSTO DE PRODUÇÃO

O conhecimento dos custos envolvidos na dosagem e produção é de suma importância para qualquer indústria de artefatos de cimento, visto que existem vários fornecedores e tipos de materiais que podem ser utilizados, além de equipamentos diferentes empregados na fabricação das peças.

Para obter-se o custo de produção dos blocos intertravados de concreto, utilizou-se um método simples, proposto por Fernandes (2012).

No caso do custo total por ciclo, multiplica-se a quantidade de material existente em kg no silo de armazenamento, pelo valor do material, obtendo-se o referido valor.

No caso do cálculo de custo por peça, divide-se o custo de produção por ciclo, pelo número de peças produzidas durante o mesmo, que no caso da vibroprensa HZ-06, é de 118 peças para a quantidade de material utilizado nos traços empíricos, e 135 para a utilizada no traço racional.

De posse do custo por peça, pode-se obter o custo de produção por metro quadrado de *pavers*, multiplicando-o por 50, uma vez que esta quantidade de peças equivale a um metro quadrado.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi levada em consideração não somente o valor dos materiais utilizados, mas também as despesas com colaboradores, consumo de água e energia elétrica, uma vez que tais despesas sofreriam variação com a alteração do ritmo de produção.

4.4. DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS EMPÍRICOS

O objetivo principal de acompanhar o desenvolvimento dos traços empíricos, foi conhecer o comportamento das peças produzidas em relação aos ensaios requeridos pela ABNT NBR 9781 (2013) sem uma dosagem racional, bem como o comportamento dos materiais utilizados e o seu custo de produção, até chegar à uma peça com condições aceitáveis, especialmente resistência à compressão, absorção d'água, análise dimensional e aspecto visual.

Esta parte do trabalho teve início no mês de maio de 2015, com a moldagem das peças dos primeiros lotes. No total foram coletadas amostras de 5 traços diferentes, divididos em 3 lotes de 20 peças cada. Dentro de cada lote, foram selecionadas aleatoriamente 6 peças para o ensaio de resistência à compressão, e 3 para ensaio de absorção d'água, estas que também foram utilizadas para ser feita a análise dimensional. Sendo assim, foram submetidas à ensaios laboratoriais 27 amostras por traço, totalizando 135 ensaios.

Visando organizar os ensaios, as amostras foram identificadas através de dois números separados por traço. O primeiro número, refere-se à qual dos lotes de 20 peças as amostras coletadas são. Neste caso, a variação varia 3 números, indicando os três lotes utilizados. O segundo número indica a ordem escolhida para a peça ensaiada.

A coleta das amostras foi feita de maneira aleatória, mas tal organização faz-se necessária, para evitar que peças sejam submetidas à mais de um ensaio, o que só é permitido pela norma nos casos de análise dimensional e absorção de água. Desta maneira, arbitrou-se que as peças identificadas com números de 1 a 6 seriam destinadas à ensaio de resistência à compressão, e de 7 a 9 para absorção de água e análise dimensional.

Vale salientar, que durante o desenvolvimento dos traços empíricos a umidade dos agregados foi aferida no período de uma hora que precedeu a moldagem das peças, proporcionando maior conhecimento sobre o comportamento das peças tomadas para amostra, uma vez que esse dado possibilitou a correção de traço conforme a quantidade de água presente no material. Além disso, a quantidade de aditivo plastificante utilizada também foi mantida constante em 200 mL para cada 50 kg de cimento, conforme recomendação do fabricante.

4.4.1. Traço 1

Inicialmente o traço 1 foi moldado a partir de uma mistura fornecida pelo fabricante da vibroprensa HZ-06, tendo em vista sua grande experiência com o equipamento, e utilização prévia em outras indústrias. Porém, como tal traço pode ter sido desenvolvido em local onde as características dos agregados eram bastante distintas às do sudoeste do Paraná, não havia confiabilidade na aplicação do mesmo. Não foi utilizada areia natural neste traço, em seu lugar foi usado pó de pedra basáltica proveniente do Fornecedor 1, assim como a areia artificial e pedrisco do Fornecedor 2. Vale salientar que no traço 1 foram utilizados um total de 352 kg de agregados para cada 50 kg de cimento. Na Figura 24, é apresentado o traço 1:

TRAÇO 1				
Cimento	Pó de Pedra	Areia Artificial	Pedrisco	Água
1	1,68	3,82	1,38	0,4816

Figura 24 Traço Empírico 1
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.1.1. Análise visual

Observando a Figura 25, nota-se que em relação ao aspecto visual, o traço 1 obteve um ótimo resultado, salvo algumas peças isoladas que apresentaram

rachaduras superficiais, causadas por problemas técnicos em duas sapatas dos moldes, instalados incorretamente. O bom acabamento deve-se ao fato de substituir-se a areia natural por pó de pedra, uma vez que a grande quantidade de finos da mistura preenchem um maior número de vazios. Além disso, já em estado endurecido, as peças apresentaram um leve tom sépia.



Figura 25 Traço 1 recém moldado
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.1.2. Análise Dimensional

Seguindo as exigências da ABNT NBR 9781 (2013), as dimensões das peças devem ter variação máxima de 3 milímetros.

Em relação à comprimento e largura, não houve variação significativa nas peças, uma vez que por ser um processo industrial, as peças tendem à seguir o padrão de dimensões da forma. Já a espessura, pode ter variações significativas, conforme variação da granulometria dos agregados utilizados, e os tempos de produção. As peças possuem espaçadores laterais e chanfros, e estes, por se tratar de um processo industrial, mantêm os 45° exigidos pela norma. A tabela 12 mostra os dados obtidos na análise dimensional das peças do traço 1

ANÁLISE DIMENSIONAL SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
AMOSTRA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)	ÁREA (mm²)	VOLUME (mm³)
1-1	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-2	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-3	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-4	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-5	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-6	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-7	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-8	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
1-9	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-1	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-2	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-3	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-4	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-5	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-6	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-7	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-8	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
2-9	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-1	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-2	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-3	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-4	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-5	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-6	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-7	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-8	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
3-9	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81
MÉDIA	199,98	99,73	61,42	19944,01	1224960,81

Tabela 12 - Análise dimensional traço 1
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.1.3. Absorção de água

O ensaio de absorção de água não apresentou variação significativa, sendo que desde o primeiro ensaio, as peças do Traço 1 atenderam à exigência da ABNT NBR 9781 (2013). Porém, de maneira a facilitar a visualização de resultados, foi adotado um número de três ensaios, como mostrado na tabela 13.

ABSORÇÃO DE ÁGUA						
MOLDAGEM	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3	
CP	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)
1-7	2917,50	6,48	2914,10	6,35	2912,20	6,28
1-8	2923,00	6,29	2920,50	6,20	2918,10	6,11
1-9	2901,00	3,98	2895,20	3,77	2890,30	3,59
2-7	2834,00	6,94	2830,00	6,79	2825,40	6,62
2-8	2824,50	6,99	2820,00	6,82	2816,80	6,70
2-9	2833,50	6,92	2828,00	6,72	2826,40	6,66
3-7	2884,50	6,44	2880,90	6,31	2876,90	6,16
3-8	2921,00	6,61	2917,60	6,48	2911,70	6,27
3-9	2937,50	7,21	2933,00	7,04	2931,60	6,99
Média		6,43		6,28		6,15

Tabela 13 - Ensaio de Absorção de água traço 1
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.1.4. Resistência mecânica à compressão

As peças de concreto para pavimentação produzidas com o traço 1 foram ensaiadas à compressão nas idades de 7 dias, 14 dias e 28 dias. A tabela 14 apresenta os resultados individuais, em Mpa, a média de 6 peças, o desvio padrão e o valor da resistência característica estimada das 6 peças.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
RUPTURA 7 DIAS		RUPTURA 14 DIAS		RUPTURA 28 DIAS	
CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)
1-1	29,83	1-3	32,65	1-5	34,32
1-2	31,47	1-4	34,32	1-6	36,95
2-1	30,15	2-3	31,22	2-5	35,36
2-2	29,20	2-4	31,89	2-6	34,32
3-1	29,38	3-3	33,35	3-5	33,99
3-2	31,17	3-4	32,66	3-6	34,02
fp	30,20	fp	32,68	fp	34,83
Desv. pad (s)	0,9361513	Desv. pad (s)	1,0846313	Desv. pad (s)	1,1539986
fpk,est (Mpa)	29,34	fpk,est	31,68	fpk,est	33,76

Tabela 14 Resistência à compressão do traço 1
Fonte: Autoria própria (2015)

Analisando os resultados apresentados na tabela 14, nota-se que as peças de concreto produzidas utilizando-se o Traço 1 não atenderam aos requisitos de resistência exigidos pela ABNT NBR 9781 (2013). O motivo provável seria a utilização

do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural, uma vez que o material possui grande quantidade de finos, e estes, somando-se com os que existem nos outros agregados, dificulta a hidratação do cimento na mistura.

4.4.2. Traço 2

A partir do Traço 2, e já com um certo domínio sobre o comportamento do equipamento, foi iniciado o processo de alteração de traço, buscando uma dosagem que atendesse os parâmetros normatizados e desejados pela empresa.

A indústria, sabendo que o traço anterior não havia atendido a norma, decidiu pela não utilização do pó de pedra basáltica nos traços subsequentes, optando pela areia natural em substituição do mesmo.

Além disso, os agregados empregados são provenientes apenas do Fornecedor 2, que apresentam uma coloração mais clara em relação ao outro fornecedor.

Uma mudança pequena ocorreu também na quantidade de materiais, que passou de 352 kg para 360 kg de agregados para cada 50 kg de cimento. Na Figura 26 estão os dados referentes ao traço 2:

TRAÇO 2				
Cimento	Areia Natural	Areia Artificial	Pedrisco	Água
1	2,4	4,2	0,6	0,52

Figura 26 Traço empírico 2
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.2.1. Análise visual

A troca do pó de pedra basáltica por areia natural proporcionou grande mudança ao aspecto visual das peças, que passaram a apresentar uma superfície

rugosa, de tonalidade cinza claro como é notado pela Figura 27, ou de “coloração natural”, semelhante às peças produzidas por outras indústrias da região.



Figura 27 Traço 2 recém moldado
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.2.2. Análise dimensional

Assim como no caso do traço 1, a análise dimensional manteve os valores de comprimento e largura constantes, sofrendo apenas variação na espessura das peças, o que pode ter sido ocasionado pela mudança agregado. Na tabela 15 são apresentados os dados obtidos na análise dimensional do traço 2.

ANÁLISE DIMENSIONAL SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
AMOSTRA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)	ÁREA (mm²)	VOLUME (mm³)
4-1	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-2	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-3	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-4	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-5	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-6	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-7	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-8	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
4-9	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
5-1	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-2	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-3	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-4	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-5	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-6	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-7	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-8	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
5-9	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
6-1	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-2	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-3	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-4	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-5	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-6	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-7	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-8	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
6-9	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
MÉDIA	199,98	99,73	58,45	19744,03	1154104,10

Tabela 15 - Análise Dimensional traço 2
 Autoria própria (2015)

4.4.2.3. Absorção de água

As peças de pavimentação produzidas com o traço 2 foram submetidas ao ensaio de absorção. A tabela 16 apresenta os resultados obtidos, os quais mostram que as peças produzidas com o traço atenderam o requisito de absorção estabelecido pela norma.

ABSORÇÃO DE ÁGUA						
MOLDAGEM	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3	
CP	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)
4-7	2558,50	5,1582	2554,50	4,99	2547,50	4,71
4-8	2586,50	5,2492	2582,50	5,09	2577,50	4,88
4-9	2569,50	4,8990	2564,00	4,67	2559,50	4,49
5-7	2588,00	6,8318	2583,50	6,65	2578,00	6,42
5-8	2582,50	4,8305	2578,00	4,65	2574,50	4,51
5-9	2639,50	5,0547	2635,50	4,90	2631,50	4,74
6-7	2576,50	5,9198	2571,50	5,71	2566,50	5,51
6-8	2680,00	5,0774	2676,00	4,92	2670,00	4,69
6-9	2593,50	5,2770	2588,50	5,07	2583,50	4,87
Média		5,37		5,18		4,98

Tabela 16 - Absorção de água traço 2
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.2.4. Resistência mecânica à compressão

São apresentadas na tabela 17 as resistências à compressão das peças produzidas pelo referido traço, sendo que as mesmas obtiveram os 35 MPa aos 28 dias como prescreve a norma, porém, por precaução os testes de traço continuaram, uma vez que a confiabilidade do ensaio é de 80%, o que poderia ocasionar que algumas peças de um grande lote não atendessem a norma, já que o desvio padrão é relativamente alto.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
RUPTURA 7 DIAS		RUPTURA 14 DIAS		RUPTURA 28 DIAS	
CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)
4-1	28,70	4-3	33,48	4-5	37,07
4-2	27,19	4-4	33,32	4-6	35,73
5-1	30,08	5-3	33,32	5-5	34,54
5-2	28,21	5-4	34,77	5-6	36,06
6-1	32,33	6-3	34,32	6-5	35,63
6-2	27,42	6-4	35,27	6-6	37,90
fp	28,99	fp	34,08	fp	36,15
Desv. pad (s)	1,94	Desv. pad (s)	0,84	Desv. pad (s)	1,18
fpk,est (Mpa)	27,21	fpk,est	33,31	fpk,est	35,07

Tabela 17 - Resistência mecânica à compressão traço 2
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.3. Traço 3

Apesar de já sabido que a dosagem anterior atenderia as normas, os testes de traço continuaram, agora preocupados com a quantidade de areia natural da mistura, que por ser o agregado com custo mais elevado, quando utilizado em quantidades demasiadas, acarreta em um maior valor por metro quadrado, diminuindo competitividade do produto no mercado.

No Traço 3 então, houve uma significativa diminuição na areia natural, mantendo-se constante a quantidade de areia artificial, acompanhado de um grande aumento no pedrisco, porém, ainda mantendo a quantidade de 360kg de agregado para cada 50 kg de cimento. Além disso, foi utilizado o pedrisco do Fornecedor 1. Assim obteve-se o traço mostrado na Figura 28.

TRAÇO 3				
Cimento	Areia Natural	Areia Artificial	Pedrisco	Água
1	1,6	4,2	1,4	0,5

Figura 28 Traço empírico 3
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.3.1. Análise visual

Como resultado da alteração de traço, as peças moldadas mantiveram um bom aspecto visual, porém, agora com pequenos defeitos superficiais, e ainda com a coloração cinza clara, semelhante ao traço 2 como mostrado na Figura 29.



Figura 29 Traço 3 recém moldado
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.3.2. Análise dimensional

Não houveram inconformidades com o Traço 3, uma vez que apesar de ter havido uma pequena variação na espessura das peças, não comprometeu aquilo que foi estabelecido pela ABNT NBR 9781 (2013), mantendo a alteração dentro da limite, de 3 mm, conforme mostra a tabela 18.

ANÁLISE DIMENSIONAL SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
AMOSTRA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)	ÁREA (mm ²)	VOLUME (mm ³)
7-1	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-2	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-3	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-4	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-5	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-6	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-7	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-8	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
7-9	199,98	99,73	58,94	19744,03	1163712,86
8-1	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-2	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-3	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-4	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-5	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-6	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-7	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-8	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
8-9	199,98	99,73	57,85	19744,03	1142191,87
9-1	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-2	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-3	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-4	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-5	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-6	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-7	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-8	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
9-9	199,98	99,73	58,57	19744,03	1156407,57
MÉDIA	199,98	99,73	58,45	19744,03	1154104,10

Tabela 18 - Análise dimensional do traço 3
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.3.3. Absorção de água

No ensaio de absorção de água, o traço 3 também ficou dentro das exigências da ABNT NBR 9781 (2013), com absorção semelhante ao traço anterior, como pode ser observado na tabela 19.

ABSORÇÃO DE ÁGUA						
MOLDAGEM	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3	
CP	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)
7-7	2695,00	6,2697	2690,50	4,99	2688,00	5,99
7-8	2782,00	3,8835	2779,50	5,09	2777,00	3,70
7-9	2838,50	4,9741	2835,00	4,67	2833,00	4,77
8-7	2876,50	4,4481	2871,50	6,65	2870,00	4,21
8-8	2751,50	4,3816	2747,00	4,65	2745,50	4,15
8-9	2722,50	4,7115	2718,50	4,90	2715,50	4,44
9-7	2716,50	4,7628	2713,00	5,71	2710,50	4,53
9-8	2783,00	4,7816	2779,00	4,92	2777,50	4,57
9-9	2785,00	5,3328	2782,00	5,07	2780,00	5,14
Média		4,84		5,18		4,61

Tabela 19 Absorção de água traço 3
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.3.4. Resistência mecânica à compressão

Nota-se pela tabela 20, que houve um pequeno ganho de resistência à compressão, em relação ao traço anterior, ultrapassando os 40 MPa, no ensaio de ruptura aos 28 dias. É perceptível que a alteração de traço, proporcionou tal ganho nas peças, compensando a leve mudança de textura superficial.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
RUPTURA 7 DIAS		RUPTURA 14 DIAS		RUPTURA 28 DIAS	
CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)
7-1	34,57	7-3	35,99	7-5	44,45
7-2	32,38	7-4	35,49	7-6	43,09
8-1	32,50	8-3	35,83	8-5	44,37
8-2	32,98	8-4	34,82	8-6	44,43
9-1	36,38	9-3	36,83	9-5	39,51
9-2	34,32	9-4	38,51	9-6	41,18
fp	33,85	fp	36,25	fp	42,84
Desv. pad (s)	1,54	Desv. pad (s)	1,29	Desv. pad (s)	2,07
fpk,est (Mpa)	32,44	fpk,est	35,06	fpk,est	40,94

Tabela 20 - Resistência à compressão traço 3
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.4. Traço 4

Buscando solucionar as pequenas trincas superficiais das peças do Traço 3, foi então feita uma pequena adição de areia natural e uma redução de pedrisco, mantendo a quantidade de areia natural constante, buscando um aumento da quantidade de finos na mistura.

Nota-se que, a partir deste traço do acompanhamento empírico, que os traços estão de certa maneira se estabilizando, resultado não só do fato das peças estarem atendendo à norma, mas também aos padrões de qualidade estabelecidos pela empresa. A Figura 30 mostra o traço 4.

TRAÇO 4				
Cimento	Areia Natural	Areia Artificial	Pedrisco	Água
1	1,6	3,8	1,8	0,42924

Figura 30 Traço Empírico 4
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.4.1. Análise visual

Notou-se a redução das trincas superficiais como mostrado na Figura 31, proporcionando peças com um ótimo acabamento. A coloração obtida foi bastante clara, decorrente da utilização da areia artificial do Fornecedor 2. O pedrisco utilizado foi proveniente do fornecedor 1.



Figura 31 Traço 4 recém moldado
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.4.2. Análise dimensional

Analogamente aos demais traços, não houveram alterações significativas. A espessura teve um pequeno aumento, que pode ser proveniente da alteração dos agregados, uma vez que os tempos de compactação e de gaveta são constantes para todos os traços. Os dados são mostrados na tabela 21.

ANÁLISE DIMENSIONAL SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
AMOSTRA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)	ÁREA (mm ²)	VOLUME (mm ³)
10-1	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-2	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-3	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-4	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-5	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-6	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-7	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-8	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
10-9	199,98	99,73	60,95	19944,01	1215587,13
11-1	199,98	99,73	61,20	19944,01	1215587,13
11-2	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-3	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-4	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-5	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-6	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-7	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-8	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
11-9	199,98	99,73	61,20	19944,01	1220573,13
12-1	199,98	99,73	61,31	19944,01	1220573,13
12-2	199,98	99,73	61,31	19944,01	1220573,13
12-3	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
12-4	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
12-5	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
12-6	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
12-7	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
12-8	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
12-9	199,98	99,73	61,31	19944,01	1222766,97
MÉDIA	199,98	99,73	61,15	19944,01	1219295,24

Tabela 21 - Análise dimensional traço 4
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.4.3. Absorção de água

A absorção de água no traço 4, como mostra a tabela 22, foi um pouco menor que no traço anterior, o que já era esperado, uma vez que a análise visual das peças mostram que as mesas possuem superfícies bastante regulares, e sem fissuras.

ABSORÇÃO DE ÁGUA						
MOLDAGEM	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3	
CP	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)
10-7	2978,50	4,0888	2976,00	4,00	2973,50	3,91
10-8	2934,50	4,1711	2932,50	4,10	2929,50	3,99
10-9	2742,50	4,9359	2738,50	4,78	2737,50	4,74
11-7	2772,50	4,1706	2769,50	4,06	2767,50	3,98
11-8	2882,50	3,7991	2879,50	3,69	2878,00	3,64
11-9	2934,50	4,3935	2930,50	4,25	2928,50	4,18
12-7	2959,50	4,0429	2955,00	3,88	2953,50	3,83
12-8	2833,50	3,3558	2831,50	3,28	2828,50	3,17
12-9	2941,50	4,6983	2938,50	4,59	2935,50	4,48
Média		4,18		4,07		3,99

Tabela 22 - Absorção de água traço 4
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.4.4. Resistência mecânica à compressão

Nota-se um considerável aumento na resistência à compressão com estas configurações dos agregados, obtendo-se um resultado que ultrapassou o exigido pela norma em mais de 7 MPa, conforme pode ser observado na tabela 23.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
RUPTURA 7 DIAS		RUPTURA 14 DIAS		RUPTURA 28 DIAS	
CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)
13-1	30,13	13-3	36,83	13-5	46,04
13-2	29,97	13-4	43,19	13-6	45,20
14-1	34,82	14-3	38,84	14-5	45,03
14-2	35,16	14-4	46,88	14-6	44,95
15-1	36,83	15-3	40,18	15-5	40,18
15-2	41,69	15-4	40,51	15-6	45,20
fp	34,77	fp	41,07	fp	44,43
Desv. pad (s)	4,40	Desv. pad (s)	3,53	Desv. pad (s)	2,12
f _{pk,est} (Mpa)	30,72	f _{pk,est}	37,83	f _{pk,est}	42,48

Tabela 23 - Resistência à compressão traço 4
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.5. Traço 5

Houve uma pequena alteração no traço 5, com aumento na areia natural e diminuição na artificial, além da utilização de menor quantidade de pedrisco e mais água. Vale lembrar de que a quantidade de materiais continua estável em 360 kg de agregado para cada 50 kg de cimento. O referido traço é apresentado na Figura 32.

TRAÇO 5				
Cimento	Areia Natural	Areia Artificial	Pedrisco	Água
1	2	3,6	1,6	0,5

Figura 32 Traço empírico 5
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.5.1. Análise visual

No traço 5, optou-se por experimentar a utilização somente dos materiais fornecidos pelo Fornecedor 1 novamente, com exceção da areia natural. As peças resultantes apresentaram um bom aspecto superficial, porém devido ao aumento na quantidade de água introduzido na mistura, houve formação de “rebarbas” nas arestas dos *pavers* em uma quantidade excepcional, como mostrado na Figura 33.



Figura 33 Traço 5 recém moldado
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.5.2. Análise dimensional

Como observado na tabela 24, não houveram peças em desconformidade em relação à ABNT NBR 9781 (2013) no que diz respeito à análise dimensional.

ANÁLISE DIMENSIONAL SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
AMOSTRA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)	ÁREA (mm ²)	VOLUME (mm ³)
13-1	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-2	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-3	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-4	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-5	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-6	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-7	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-8	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
13-9	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-1	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-2	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-3	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-4	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-5	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-6	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-7	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-8	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
14-9	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-1	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-2	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-3	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-4	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-5	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-6	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-7	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-8	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
15-9	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47
MÉDIA	199,98	99,73	57,89	19944,01	1154558,47

Tabela 24 - Análise dimensional traço 5
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.5.3. Absorção de água

Na tabela 25 são mostrados os resultados de absorção de água do traço 5, podendo ser observado que apesar do aumento em relação ao traço anterior, o requisito da norma foi cumprido.

ABSORÇÃO DE ÁGUA						
MOLDAGEM	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3	
CP	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)
13-7	2749,00	3,9319	2746,50	3,84	2743,50	3,72
13-8	2734,50	3,7170	2732,50	3,64	2729,50	3,53
13-9	2594,50	6,0495	2591,50	5,93	2588,50	5,80
14-7	2593,00	5,9232	2591,50	5,86	2588,50	5,74
14-8	2771,50	3,4721	2770,00	3,42	2768,00	3,34
14-9	2745,50	3,9175	2742,50	3,80	2740,50	3,73
15-7	2742,50	3,7843	2739,50	3,67	2737,00	3,58
15-8	2766,50	3,6919	2764,00	3,60	2761,50	3,50
15-9	2801,00	5,1821	2796,50	5,01	2794,50	4,94
Média		4,41		4,31		4,21

Tabela 25 - Absorção de água traço 5
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.5.4. Resistência mecânica à compressão

Nota-se pela tabela 26, que o traço 5 obteve bons resultados em relação à resistência à compressão, porém, uma vez que a energia de compactação e vibração fornecida pelo equipamento é a mesma dos traços anteriores, a variação do desvio padrão pode ser atribuída à mudança de agregados.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
RUPTURA 7 DIAS		RUPTURA 14 DIAS		RUPTURA 28 DIAS	
CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)
13-1	30,13	13-3	36,83	13-5	47,71
13-2	29,97	13-4	43,19	13-6	41,85
14-1	34,82	14-3	38,84	14-5	41,69
14-2	35,16	14-4	46,88	14-6	41,60
15-1	36,83	15-3	40,18	15-5	40,18
15-2	41,69	15-4	40,51	15-6	36,83
fp	34,77	fp	41,07	fp	41,64
Desv. pad (s)	4,40	Desv. pad (s)	3,53	Desv. pad (s)	3,53
f _{pk,est} (Mpa)	30,72	f _{pk,est}	37,83	f _{pk,est}	38,40

Tabela 26 - Resistência à compressão traço 5
Fonte: Autoria própria (2015)

4.4.6. Comparação e escolha do melhor traço empírico

Nesta fase, foi escolhido o melhor traço empírico, e considerando que todos os traços atenderam as exigências da ABNT NBR 9781 (2013) em relação à análise dimensional e absorção de água, tais parâmetros não serão considerados. Assim, a comparação entre os traços será baseada na resistência mecânica à compressão, custo de produção, e aspecto visual.

Vale também salientar, que devido ao fato da resistência à compressão do Traço empírico 1 ter ficado abaixo dos 35 Mpa exigidos pela norma, o mesmo foi desclassificado, visto que tal critério é fundamental para a utilização do produto final.

4.4.6.1. Comparativo de custo x resistência à compressão

Garantir um produto que atenda às exigências normatizadas é primordial para qualquer produtora de blocos de concreto intertravado. Porém, visto que o mercado apresenta grande competição nesse setor, é importante que tal exigência seja cumprida, mantendo um custo de produção baixo.

Durante o acompanhamento dos traços empíricos, foi possível notar que apesar de certo traço apresentar uma resistência à compressão superior aos outros, o mesmo não é necessariamente o mais indicado para a produção, pois seu custo pode ser alto, tornando-o inviável.

Portanto, para realizar a escolha do traço empírico, foi feita uma comparação entre resistência à compressão e o custo de produção, selecionando assim o traço cujas peças produzidas obtiveram resistência mecânica à compressão mais próxima dos 35 Mpa exigidos pela ABNT, com o menor custo.

Assim, escolhe-se o TRAÇO 4, uma vez que o mesmo apresenta resistência à compressão de 38,5 Mpa, e cujo custo do metro quadrado é de aproximadamente R\$ 22,14 (ainda sem considerar gastos com funcionários e gastos de operação da vibroprensa) como é mostrado na tabela 27.

Resistência x Custo					
Resistência	TRAÇO 1	TRAÇO 2	TRAÇO 3	TRAÇO 4	TRAÇO 5
7 dias	29,34 Mpa	27,21 Mpa	32,44 Mpa	31,01 Mpa	30,72 Mpa
14 dias	31,68 Mpa	33,31 Mpa	35,06 Mpa	35,39 Mpa	37,83 Mpa
28 dias	33,76 Mpa	35,07 Mpa	40,9 Mpa	38,5 Mpa	42,48 Mpa
Custo/Ciclo	R\$ 49,48	R\$ 55,08	R\$ 53,16	R\$ 52,24	R\$ 52,32
Custo/Peça	R\$ 0,42	R\$ 0,47	R\$ 0,45	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custo/m ²	R\$ 20,97	R\$ 23,34	R\$ 22,53	R\$ 22,14	R\$ 22,17

Tabela 27 - Comparativo resistência x custo
 Autoria própria (2015)

4.5. DETERMINAÇÃO DO TRAÇO RACIONAL

Para determinar o traço racional do presente trabalho, partiu-se inicialmente do experimento proposto por RODRIGUES (1995), o qual consiste em comparar as massas de recipientes de volume conhecido, com diferentes proporções de agregados, de modo à encontrar a proporção que apresente a maior massa possível, num volume constante, mantendo as condições de aplicabilidade do mesmo no equipamento utilizado.

4.5.1. Definição dos agregados a serem utilizados

Durante a escolha dos materiais a serem utilizados, o principal fator levado em consideração foi a sua quantidade de finos, ou partículas das amostras de agregado, passantes na peneira de 0,150 mm de abertura. Considerando que a areia natural utilizada possui uma quantidade considerável de finos, optou-se por uma certa cautela na escolha dos demais agregados, selecionando para a dosagem racional a areia artificial do Fornecedor 2 e o pedrisco do fornecedor 1. Assim como ocorreu a partir do segundo traço da dosagem empírica, preferiu-se não utilizar pó de pedra basáltica, visto que apresentava quantidade exacerbada de partículas finas, que prejudicaria a hidratação do cimento.

4.5.2. Definição e escolha do traço racional

Seguindo o que foi proposto por Rodrigues (1995), foram definidas nove diferentes proporções de agregados, utilizando-se areia artificial, areia natural e pedrisco, dispostos em tubos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Assim, após processo de homogeneização (Figura 34) das misturas de agregado, preencheram-se os tubos como mostrado na Figura 35, com as proporções respectivas, numa sequência de três camadas, compactadas com 25 golpes de uma haste metálica de 25 cm, com o devido cuidado para não penetrar a camada inferior, e com a superfície regularizada posteriormente.



Figura 34 Proporções sendo homogeneizadas
Fonte: Autoria própria (2015)



Figura 35 Tubo de porcionamento devidamente cheio
Fonte: Autoria própria (2015)

Definidas as proporções dos agregados segundo o método proposto, a fase seguinte foi estabelecer a relação agregado/cimento. Conhecendo a capacidade do equipamento de vibrocompressão, foi adotada uma relação maior, buscando uma redução no consumo de cimento. Foi então estabelecido que para cada saco de cimento (50 kg) seriam utilizados 410 kg de agregados, antes da correção de umidade.

Visando proporcionar maior confiança sobre a dosagem, foi utilizado equacionamento proposto por Frasson (2000) no item 2.3.2. Para o mesmo, não foi considerado fator multiplicativo P na resistência das peças. Como a empresa em questão utiliza equipamento avançado de vibrocompressão, e possui um profissional responsável pela qualidade das peças, o coeficiente de variação CV disponível na Tabela 01 foi igual a 5. Assim, obtêm-se que a resistência média mínima a ser atendida na dosagem é de 38,15 MPa:

$$F_{bm} = F_{bk} / (1 - 1,65 \cdot CV)$$

$$F_{bm} = 35 / (1 - 1,65 \cdot 0,05)$$

$$F_{bm} = 38,15 \text{ MPa}$$

O aditivo plastificante utilizado, manteve-se o mesmo que a empresa estava utilizando nos traços empíricos, e uma vez que sua dosagem é feita em relação à quantidade de cimento na mistura, manteve-se a quantidade de 200 mL para cada 50 kg de cimento, conforme recomendado pelo fabricante.

Segundo Fernandes (2012), a quantidade de água na mistura deveria ser mantida no máximo possível. Porém, ao se aproximar dos 7%, haveria o risco de algum dos agregados vir do fornecedor com umidade muito elevada, dificultando a dosagem, então definiu-se o teor de umidade em 6,6%, incluindo a quantidade da água necessária para a diluição do aditivo plastificante.

Então, a partir das proporções escolhidas, preencheram-se os tubos, tomando o devido cuidado para que as massas de cada agregado fossem ponderadas de acordo com sua densidade. Na tabela 28 são apresentados os dados obtidos.

PROPORCIONAMENTO DE AGREGADOS									
Agregado	TUBO 1 (%)	TUBO 2 (%)	TUBO 3 (%)	TUBO 4 (%)	TUBO 5 (%)	TUBO 6 (%)	TUBO 7 (%)	TUBO 8 (%)	TUBO 9 (%)
Areia Natural	10	10	80	20	30	50	12,5	25	12,5
Areia Artificial	10	80	10	30	50	20	75	25	12,5
Pedrisco	80	10	10	50	20	30	12,5	50	75
Material	MASSAS DOS AGREGADOS NOS TUBOS								
Areia Natural	0,25299	0,25299	2,02390	0,50597	0,75896	1,26494	0,31623	0,63247	0,31623
Areia Artificial	0,23836	1,90688	0,23836	0,71508	1,19180	0,47672	1,78770	0,59590	0,29795
Pedrisco	1,91912	0,23989	0,23989	1,19945	0,47978	0,71967	0,29986	1,19945	1,79917
Massa Final	2,41046	2,39976	2,50215	2,42050	2,43054	2,46132	2,40380	2,42782	2,41336
Material	MISTURA SEM CORREÇÃO								
Cimento	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Areia Natural	43	43	332	86	128	211	54	107	54
Areia Artificial	41	326	39	121	201	79	305	101	51
Pedrisco	326	41	39	203	81	120	51	203	306
Água	26,8	26,5	25,9	26,6	26,4	26,2	26,5	26,5	26,7

Tabela 28 - Desenvolvimento de traço racional 1
Fonte: Autoria própria (2015)

Para iniciar a seleção do tubo com melhor proporcionamento, foi calculado a média aritmética entre as massas finais, cujo valor foi utilizado como um divisor para as massas de cada tubo. Assim, os tubos cujas massas finais apresentaram resultado menor que a média geral, foram descartadas das avaliações seguintes.

Considerando então que a média geral das massas é de 2,42997 kg, foram descartados os tubos 1, 2, 4, 7, 8, e 9.

Então, no dia da moldagens das peças, foi averiguada a umidade dos agregados, obtendo-se os dados apresentados na tabela 29.

Umidade			
Agregado	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Umidade (%)
Areia Natural	579	550	5,273
Areia Artificial	300	295	1,695
Pedrisco	223	222	0,450

Tabela 29 - Umidade dos agregados
Fonte: Autoria própria (2015)

De posse desses dados, foi possível a correção da umidade e massa das misturas propostas pelo método, bem como conhecer a quantidade exata de água que ainda seria necessária adicionar à mistura, para obter o teor de umidade desejado. Caso fosse seguido integralmente a proposição de Rodrigues (1995), nesta etapa já poderia ser definido o traço a ser utilizado, porém, como só restaram três dos nove

traços, passou-se agora para a fase de avaliação dos traços em relação ao custo de produção, apresentados na tabela 30.

MISTURA CORRIGIDA			
MATERIAL	TUBO 3	TUBO 5	TUBO 6
Cimento	50	50	50
Areia Natural	314	121	200
Areia Artificial	38	198	78
Pedrisco	39	81	119
Água a adicionar	7,0	14,8	12,3
CUSTOS DE PRODUÇÃO			
MATERIAL	TUBO 3	TUBO 5	TUBO 6
Cimento	R\$ 24,76	R\$ 24,76	R\$ 24,76
Areia Natural	R\$ 18,24	R\$ 7,04	R\$ 11,59
Areia Artificial	R\$ 1,37	R\$ 7,04	R\$ 2,78
Pedrisco	R\$ 1,10	R\$ 2,27	R\$ 3,36
Aditivo	R\$ 6,50	R\$ 6,50	R\$ 6,50
Custo por Ciclo	R\$ 51,97	R\$ 47,60	R\$ 48,99
Custo por Peça	R\$ 0,38	R\$ 0,35	R\$ 0,36
Custo por M ²	R\$ 19,25	R\$ 17,63	R\$ 18,14

Tabela 30 - Comparativo de custo de produção
Fonte: Autoria própria (2015)

Nota-se a partir dos dados apresentados na tabela 30, que alguns tubos possuem traços que gerariam peças muito caras, e portanto inaplicáveis. No caso do TUBO 3, sua exclusão deve-se basicamente pela quantidade de areia natural, que além de ser o agregado de valor mais elevado, faria com que a mistura apresentasse excesso de materiais finos. Por sua vez, o TUBO 6 não possuía uma quantidade de areia artificial tão grande, porém ainda assim sua proporção o tornou mais caro, o que tornou o TUBO 5 a opção mais viável.

Com objetivo, de avaliar se a decisão foi a correta, efetuou-se a reconstituição granulométrica da mistura do TUBO 5, obtendo-se uma curva semelhante à curva proposta por Dowson(1981), como mostrado nas Figuras 36 e 37.

4.5.3. Análise das peças

De maneira análoga aos traços empíricos, o traço racional proveniente do TUBO 5, foi submetido aos ensaios tidos como obrigatórios pela ABNT NBR 9781 (2013), além de análise visual.

4.5.3.1. Traço racional

Uma vez escolhida a proporção de materiais, pôde ser definido o traço racional, que é o objetivo central da comparação do presente trabalho e é apresentado na Figura 38.

TRAÇO RACIONAL				
Cimento	Areia Natural	Areia Artificial	Pedrisco	Água
1	2,43	3,95	1,61	0,527

Figura 38 Traço Racional
Fonte: Autoria própria (2015)

4.5.3.2. Análise visual

Observa-se que as amostras produzidas utilizando-se do traço racional obtiveram uma boa qualidade superficial, e nota-se pelas ranhuras apresentadas nas laterais das peças que a umidade utilizada no traço está correta. Algumas apresentaram certa rugosidade superficial, estas porém, não são significantes a ponto de impossibilitar sua utilização pelo usuário final. Além disso, na Figura 40 pode-se perceber as ranhuras na superfície lateral da peça, o que indica uma adequada dosagem da água no concreto.



Figura 39 Amostras do traço racional saturadas
Fonte: Autoria própria (2015)



Figura 40 Ranhuras laterais de amostra do traço racional
Fonte: Autoria própria (2015)

4.5.3.3. Análise dimensional

Assim como nos traços empíricos, não foi constatado nenhuma inconformidade nas dimensões das amostras produzidas na dosagem racional. A espessura está pouco acima da nominal, mas dentro da tolerância de 3 mm, como apresentado nos dados da tabela 31.

ANÁLISE DIMENSIONAL SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)					
AMOSTRA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)	ÁREA (mm ²)	VOLUME (mm ³)
16-1	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-2	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-3	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-4	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-5	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-6	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-7	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-8	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
16-9	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-1	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-2	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-3	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-4	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-5	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-6	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-7	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-8	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
17-9	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-1	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-2	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-3	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-4	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-5	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-6	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-7	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-8	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
18-9	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50
MÉDIA	200,00	99,35	61,15	19870,00	1215050,50

Tabela 31 - Análise dimensional traço racional
Fonte: Autoria própria (2015)

4.5.3.4. Absorção de água

No caso do ensaio de absorção de água, da mesma forma que nos traços empíricos, não houve imprevistos, com todas as amostras apresentando baixa absorção, como apresentado na tabela 32.

ABSORÇÃO DE ÁGUA						
MOLDAGEM	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3	
CP	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)
16-7	2821,00	4,2306	2817,00	4,08	2815,50	4,03
16-8	2671,00	5,6566	2666,50	5,48	2664,00	5,38
16-9	2783,50	4,1534	2779,50	4,00	2776,00	3,87
17-7	2803,50	3,9681	2800,00	3,84	2797,50	3,75
17-8	2781,50	4,2541	2778,00	4,12	2776,50	4,07
17-9	2749,00	4,2275	2744,00	4,04	2741,50	3,94
18-7	2786,50	4,6180	2781,50	4,43	2779,50	4,36
18-8	2692,50	5,3610	2697,50	5,56	2685,00	5,07
19-9	2750,00	5,1022	2746,50	4,97	2744,50	4,89
Média		4,62		4,50		4,37

Tabela 32 - Ensaio de absorção de água traço racional
Fonte: Autoria própria (2015)

4.5.3.5. Resistência à compressão

Apesar de ter apresentado um desvio padrão alto nos ensaios aos 7 e 14 dias, as exigências exigidas pela norma em relação à resistência à compressão aos 28 dias foram cumpridas como pode-se notar pela tabela.

Além disso, efetuando a média aritmética das resistências das peças sem o desvio padrão prescrito na ABNT NBR 9781 (2013), obtemos uma média de 39,68 MPa (F_{pkr}), que é superior aos 38,15 obtidos através de Equação 1. Os dados obtidos no ensaio são mostrados na Tabela 33.

RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO SEGUNDO ABNT NBR 9781 (2013)						
RUPTURA 7 DIAS		RUPTURA 14 DIAS		RUPTURA 28 DIAS		
CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	CP	fpi (Mpa)	Fpkr
16-1	30,13	16-3	41,85	16-5	39,34	41,41
16-2	35,16	16-4	41,85	16-6	36,83	38,77
17-1	40,18	17-3	33,48	17-5	34,32	36,13
17-2	40,18	17-4	31,81	17-6	37,67	39,65
18-1	41,02	18-3	38,51	18-5	38,51	40,53
18-2	39,34	18-4	41,85	18-6	39,51	41,59
fp	37,67	fp	38,23	fp	37,70	39,68
Desv. pad (s)	4,24	Desv. pad (s)	4,54	Desv. pad (s)	1,94	-
fpk,est (Mpa)	33,77	fpk,est	34,05	fpk,est	35,91	39,68

Tabela 33 - Ensaio de resistência à compressão
Fonte: Autoria própria (2015)

4.5.3.6. Custo de produção

Nos dados apresentados na tabela 34, notamos os custos relativos à produção dos blocos de concreto intertravado utilizando-se o traço racional.

Resistência à Compressão TUBO 5	
Ruptura	Resistência (Mpa)
7 dias	33,77
14 dias	34,04
28 dias	35,91
Custo de produção TUBO 5	
Unidade	Custo
Custo/Ciclo (R\$)	R\$ 47,60
Custo/Peça (R\$)	R\$ 0,35
Custo/m ² (R\$)	R\$ 17,63

Tabela 34 - Resistência x Custo de produção do traço racional
Fonte: Autoria própria (2015)

4.6. DEMAIS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Além dos valores relacionados aos materiais, para se obter uma estimativa mais precisa do custo de produção, faz-se necessário conhecer o valor da mão de obra utilizada na indústria em questão, bem como o gasto com energia elétrica do equipamento de vibrocompressão.

Apesar de os materiais e seus valores serem suficientes para avaliar a influência que a utilização da dosagem racional traria à produção dos blocos intertravados de concreto, ter conhecimento do custo total do metro quadrado das peças traz uma melhor ideia da margem de lucro que a empresa obteria, uma vez que os valores finais de venda são ditados pelo mercado.

4.6.1. Custo da mão de obra

O valores utilizados como base de cálculo para o custo por hora de mão de obra apresentados na tabela 35, foram retirados da Convenção Coletiva de Trabalho 2015/2016 (SINTRACONPB 2015)

CATEGORIA	JUNHO
AUXILIAR / SERVENTE	R\$ 5,42
PROFISSIONAL	R\$ 7,31
ENCARREGADO	R\$ 10,40

Tabela 35 - Pisos Salariais
Fonte: SINTRACONPB (2015)

De posse então dos pisos salariais da Figura 35, elaborou-se uma composição de custo de mão-de-obra, levando-se em consideração os funcionários envolvidos no processo industrial, bem como os encargos sociais relativos à sua contratação apresentados na tabela 36.

A - ENCARGOS SOCIAIS BÁSICOS	
INSS	20,00%
FGTS	8,00%
Salário-Educação	2,50%
SESI	1,50%
SENAI	1,00%
SEBRAE	0,60%
INCRA	0,20%
Seguro contra acidente de trabalho	3,00%
Total parcial	36,80%
B - ENCARGOS TRABALHISTAS	
Férias (+1/3)	11,11%
13º Salário	8,33%
Total parcial	19,44%
C - ENCARGOS TRABALHISTAS INDENIZATÓRIOS	
Aviso prévio (valor adotado)	10,20%
Multa por rescisão do contrato de trabalho	4,54%
Total parcial	14,70%
D - INCIDÊNCIAS ACUMULATIVAS	
Incidência de A sobre B	7,15%
Incidência de férias sobre o aviso prévio	1,13%
Incidência do 13º salário sobre o aviso prévio	0,85%
Incidência do FGTS sobre o aviso prévio	0,82%
Total parcial	9,95%
TOTAL DE ENCARGOS	80,93%

Tabela 36 - Encargos sociais relacionados à contratação de funcionários
Fonte: MATTOS (2006)

Segundo Mattos (2006), no caso de contratação de funcionários mensalistas, o encargo social a ser adicionado ao valor das despesas é de 80,93%, conforme a tabela 36. Então, aplicando as despesas totais, e considerando que de acordo com o catálogo do fabricante, na dosagem racional a produção é de 80 m²/h, contra 70 m²/h na dosagem empírica, temos a composição de custo com funcionários, apresentada na tabela 37.

Funcionário	Quantidade	TRAÇO EMPÍRICO		TRAÇO RACIONAL	
		Total/hora	Total R\$/m ²	Total/hora	Total R\$/m ²
Encarregado	1	R\$ 13,23	R\$ 0,19	R\$ 13,23	R\$ 0,17
Operário	4	R\$ 75,27	R\$ 1,08	R\$ 75,27	R\$ 0,94
TOTAL (R\$)	5	R\$ 88,49	R\$ 1,26	R\$ 88,49	R\$ 1,11

Tabela 37 - Comparação de custo de mão de obra
Fonte: Autoria própria (2015)

No caso do consumo de energia elétrica, transformando a potência fornecida pelo catálogo do fabricante do equipamento, e utilizando a tarifa de energia elétrica para zonas industriais da concessionária, segundo Resolução ANEEL N° 1897, de 16 de junho de 2015, obtemos os dados da tabela 38.

Composição de consumo de energia elétrica				Traço empírico	Traço Racional	
Equipamento	Potência (KW)	Consumo (KWh)	Unitario(R\$/KWh)	Total (R\$)	R\$/m ²	R\$/m ²
Vibroprensa +track	41,01	328,08	0,74592	244,7214	3,49602048	R\$ 3,06
Silo+Misturador	12,5	100	0,74592	74,592	1,0656	R\$ 0,93
Total	53,51	428,08	0,74592	R\$ 319,31	R\$ 4,56	R\$ 3,99

Tabela 38 - Custo do consumo de energia elétrica
Fonte: Autoria própria (2015)

No caso do consumo de água, considerando a densidade da água 1kg/m³, e que o tempo de cada ciclo é 15 segundos, tem-se aproximadamente 240 ciclos por hora. Além disso, considerou-se uma jornada de 8 horas por dia de utilização do equipamento, durante 16 dias por mês, e para o custo da máquina, foi utilizado como base a Tabela de Tarifas de Saneamento Básico, disponibilizada pela SANEPAR, de acordo com o decreto N° 2010/2015, conforme tabela 39.

COMERCIAL / INDUSTRIAL / UTILIDADE PÚBLICA	Até 10 m ³	Excedente a 10m ³
ÁGUA Todas as Localidades Operadas	54,91	6,19/m ³
Curitiba ESGOTO – 85% ÁGUA E ESGOTO	46,67 101,58	5,26/m ³ 11,45/m ³
Demais Localidades ESGOTO - 80% ÁGUA E ESGOTO	43,93 98,84	4,95/m ³ 11,14/m ³

Tabela 39 - Tarifas de consumo de água em localidade industrial
Fonte: SANEPAR (2015)

Sendo assim, obtêm-se os consumos estimados de água para as duas dosagens. Novamente, considerando que utilizando-se o traço empírico a produção é de 70 m²/h, e no traço racional é 80 m²/h, é obtida uma produção estimada de 8960 m²/mês e 10240 m²/mês, respectivamente, para então, traduzir-se no consumo de água mostrado na tabela 40.

CONSUMO DE ÁGUA					
Consumo água (média)/ciclo	água/hora	m ³ /m ²	Custo Mensal (R\$)	Total (R\$/m ²)	
Traço Empírico	0,02101	5,0424	0,072034286	54,91	0,006128348
Traço Racional	0,0264	6,336	0,0792	61,1	0,005966796

Tabela 40 - Comparativo de consumo e custo da água
Fonte: Autoria própria (2015)

5. RESULTADOS

De posse dos dados obtidos no acompanhamento e escolha do melhor traço empírico, e dos resultados do traço racional, pode-se traçar então um comparativo entre as duas dosagens, estabelecendo estimativas de custo entre as duas, levando em consideração também as despesas com funcionários envolvidos na produção, e os gatos com energia elétrica e água do equipamento.

5.1. COMPARATIVO ENTRE AS DOSAGENS

Como forma de buscar uma medida mais palpável em relação ao mercado consumidor, o custo utilizado na comparação entre as duas metodologias de dosagem foi o custo por metro quadrado. A tabela 41 mostra resumidamente os custos incorporados à produção dos blocos de concreto intertravado, de todos os traços utilizados durante o período de 08 de maio de 2015 à 22 de agosto de 2015.

CUSTO	TRAÇO 1 (R\$)	TRAÇO 2 (R\$)	TRAÇO 3 (R\$)	TRAÇO 4 (R\$)	TRAÇO 5 (R\$)	EMPÍRICA	RACIONAL
						TOTAL	TUBO 5 (R\$)
Lucro/m ²	5,2038717	2,8338717	3,6438717	4,0338717	4,0038717		9,2640332
Período	08/mai	26/mai	20/jun	03/jul	20/jul	Total de dias em atividade	
	26/mai	20/jun	03/jul	20/jul	22/ago		
Dias em atividade	10	16	8	10	20	64	
LUCRO	26019,35826	22670,97322	14575,48661	20169,35826	40038,71652	123473,8929	296449,0625
DIFERENÇA DE LUCRO						R\$ 172.975,17	

Tabela 41 - Comparativo final de custo/m²
Fonte: Autoria própria (2015)

Em pesquisa na região sudoeste do paraná, foi estipulado um valor médio de venda do metro quadrado de *paver*, proveniente de indústrias com sistema de produo semelhante  da unidade de pesquisa do presente trabalho. Assim, obteve-se valor médio de R\$ 32,00 por metro quadrado.

A tabela 42, mostra a comparao da margem de lucro obtida pela empresa utilizando a dosagem empírica, e a dosagem racional, considerando o valor médio de mercado citado acima, e uma produo fictícia de 500 m²/dia.

COMPARATIVO DE LUCRO ENTRE DOSAGENS						EMPÍRICA	RACIONAL
CUSTO	TRAÇO 1 (R\$)	TRAÇO 2 (R\$)	TRAÇO 3 (R\$)	TRAÇO 4 (R\$)	TRAÇO 5 (R\$)	TOTAL	TUBO 5 (R\$)
Lucro/m ²	5,2038717	2,8338717	3,6438717	4,0338717	4,0038717		9,2640332
Período	08/mai	26/mai	20/jun	03/jul	20/jul	Total de dias em atividade	
	26/mai	20/jun	03/jul	20/jul	22/ago		
Dias em atividade	10	16	8	10	20	64	
LUCRO	26019,35826	22670,97322	14575,48661	20169,35826	40038,71652	123473,9	296449,063
DIFERENÇA DE LUCRO						R\$ 172.975,17	

Tabela 42 - Comparativo de lucro
Fonte: Autoria própria (2015)

Então comparando os dados apresentados, nota-se que apesar da diferença por metro quadrado não ser grande, ao considerar uma produção diária alta como a proposta na tabela 42, a dosagem racional poderia ter gerado até R\$ 172.975,17 a mais de em rendimento, representando um aumento de aproximadamente 240% na margem de lucro.

Porém, ao se observar os resultados de resistência mecânica à compressão, nota-se que as peças produzidas utilizando a dosagem empírica, obtiveram resultados superiores aos 35,91 MPa obtidos usando a dosagem racional. A aparente vantagem porém, não torna justificável sua utilização, uma vez que a ABNT NBR 9781 (2013), exige apenas 35 MPa, transformando o seu excedente em possível desperdício de material. Além disso, sem um controle técnico adequado, não haveria como garantir que tal resistência seria atingida nos lotes seguintes, uma vez que existem variáveis como granulometria e umidade, que influenciam direto na qualidade do produto, e precisam de atenção constante durante a produção.

5.2. ESTIMATIVAS DE LUCRO

Além das vantagens técnicas da utilização da dosagem racional, faz-se necessário um estudo da estimativas de lucro de produção, uma vez que para que seja viável a aplicação do presente estudo na unidade de pesquisa, o mesmo deve mostrar sua vantagem econômica.

Porém, como não foram obtidos com a fabricante do equipamento dados de depreciação ou datas de manutenção preventivas, a partir da observação da vibroprensa em funcionamento, foram adotados alguns dados, dos quais alguns já foram citados anteriormente:

- a) Jornada diária de 8 horas de funcionamento;
- b) Jornada semanal de 4 dias, sendo o quinto dia útil destinado à paletização da produção e manutenção do equipamento;
- c) Produção diária de 500 m², abaixo do máximo, evitando assim o desgaste excessivo da vibroprensa, especialmente molde e contramolde.
- d) Desconsiderou-se a perda de peças, uma vez que as mesmas são retornadas a misturador imediatamente após a constatação do problema.
- e) Para efeitos de comparação, serão considerados apenas o lucro por metro quadrado das peças produzidas pelas duas metodologias de dosagem. Assim, a comparação considerará que a produção foi totalmente vendida.

É possível então notar pela tabela 43, a enorme diferença que a utilização de uma dosagem técnica proporciona à indústria de artefatos de cimento.

ESTIMATIVA DE LUCRO			
Lucro	DOSAGEM EMPÍRICA (R\$)	DOSAGEM RACIONAL (R\$)	DIFERENÇA (R\$)
Por m ²	R\$ 6,82	R\$ 9,26	R\$ 2,44
Diário	R\$ 3.410,00	R\$ 4.630,00	R\$ 1.220,00
Semanal	R\$ 13.640,00	R\$ 18.520,00	R\$ 4.880,00
Mensal	R\$ 54.560,00	R\$ 74.080,00	R\$ 19.520,00
Anual	R\$ 654.720,00	R\$ 888.960,00	R\$ 234.240,00

Tabela 43 - Estimativa de lucro comparando as duas metodologias de dosagem
Fonte: Autoria própria (2015)

6. CONCLUSÃO

A evolução da tecnologia nos traz não somente novos materiais e equipamentos, mas muda conceitos em relação à qualidade daquilo que está se produzindo. Quando fala-se em peças pré-fabricadas de concreto para pavimentação, deve-se compreender que existe um longo caminho a ser traçado, não somente em busca de materiais diferenciados ou equipamentos, mas especialmente, na busca de maior qualidade e certificação aos produtos que já existem no mercado.

Assim, conhecer o método de dosagem e produção de tais blocos é essencial, para que a indústria possa dar ao consumidor maior garantia daquilo que está sendo adquirido, e possibilitando que a empresa aumente sua lucratividade.

A produção dos referidos blocos intertravados, ou *pavers* como são popularmente conhecidos, pode ocorrer de inúmeras maneiras, porém, cabe ao responsável pela indústria conhecer não somente a capacidade do equipamento, mas também os métodos de dosagem do concreto seco e seus materiais compósitos, pois tal conhecimento é primordial, já reduzindo custos e desperdícios na linha de produção, a empresa se torna mais competitiva no mercado consumidor, além de reduzir o impacto ambiental agregado à possível má destinação das peças defeituosas, uma vez que a construção civil é um dos setores mais responsáveis pela degradação do meio ambiente.

No presente trabalho, demonstrou-se que a influência da utilização de uma dosagem racional na produção de blocos intertravados de concreto não só é grande, como facilmente gerida.

Notou-se que sem a utilização de um desenvolvimento técnico adequado, mesmo estando com a produção próxima à capacidade do equipamento, o lucro dificilmente chegaria próxima a R\$ 7,00, quando poderia ultrapassar os R\$ 9,00 utilizando uma dosagem racional. Tal diferença, poderia ser considerada pequena à olhos leigos, porém, através de uma simples projeção de lucro, torna-se um enorme montante, que poderia ser reinvestido na indústria, para melhoria do controle de qualidade das peças, por exemplo.

Além disso, através do presente trabalho notou-se que antes da aplicação do estudo as peças apresentavam uma textura irregular dentro de um mesmo lote, aspecto que foi melhorado com o traço racional.

A absorção de água nas peças produzidas racionalmente foi ligeiramente menor, e com maior constância do que nos traços anteriores.

Já no caso da resistência à compressão, houve uma redução de 7 MPa se comparado ao traço empírico 4. Porém, uma vez que as exigências da ABNT NBR 9781 (2013) foram cumpridas, todo o excedente poderia ser encarado como excesso de material, e logo, desperdício.

Provou-se então, que a indústria por sua vez, dados os resultados do estudo, teria condições claras de efetuar a contratação de profissional especializado para tal função, ou, caso prefira, contratar um serviço de assessoria técnica, o que proporcionaria melhorias na padronização de produção, e na garantia oferecida aos consumidores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Aplicações – Pavimento intertravado. São Paulo, Brasil, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil. São Paulo, Brasil, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual do Pavimento Intertravado. São Paulo, Brasil, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas e solo – Terminologia. NBR 6502. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária. NBR 7810. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. NBR 9781. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência a compressão. NBR 9780. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aditivos para concretos de cimento Portland. NBR 11768. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. NBR 12655. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland – Determinação de Perda ao fogo. NBR 5743. Rio de Janeiro, Brasil, 1989.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Terminologia. NBR 9935. Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados para concreto – Especificação. NBR 7211. Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

BALBO, J. T.. Pavimentação asfáltica: Materiais, projetos e restauração, OFICINA DE TEXTOS, São Paulo, Brasil, 2007.

BALBO, J. T.. Pavimentos Viários e Pisos Industriais de Concreto. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Volume 2. IBRACON. São Paulo, Brasil, 2005.

BAPTISTA, C. F. N.. Pavimentação: Ensaios fundamentais para pavimentação e dimensionamento dos pavimentos flexíveis. GLOBO. Porto Alegre, Brasil, 1978.

CORSINI, R.. Paleta de Cores. Revista Techne, Edição 172. Brasil, 2011.

DOWSON, A. J.. Mix design for concrete block paving. Precast concrete. London, England, 1981.

DI GREGORIO, L. T.. Orientações para fabricação de blocos de concreto e pisos intertravados. Projeto Simple House Solutions. Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

FERNANDES, I. D.. Blocos e Pavers – Produção e Controle de qualidade. Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais. Ribeirão Preto, Brasil, 2008.

FERREIRA JUNIOR, S.. Produção de blocos de concreto para alvenaria – Prática recomendada. ABCP – Boletim Técnico 103. São Paulo, 3ª edição, 1995.

GIAMUSSO, S.. Manual do Concreto. PINI, São Paulo, Brasil, 1992.

GUERRA, R. S. T.. Passo a passo: assentamento de piso intertravado. Em < clubedoconcreto.com.br/2013/12/passopasso-assentamento-de-piso >. Acessado em 28 de maio de 2015.

HELENE, P. R. L.; TERIAN, P.. Manual de Dosagem e Controle do Concreto, PINI/SENAI, Brasília, Brasil (1992).

HOLTHAUS, E. W.. Possibilities and limitations of modern vibrating systems in concrete block machines. Third International Conference on Concrete Block Paving. Rome, Italy, 1988.

HÜSKEN, G.; BROUWERS, H. J. H.. Experimental and Theoretical Study of Earth-Moist Concrete. University of Twente, Enschede, Netherlands, 2008.

H-ZEN AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. Catálogo e ficha técnica. Brusque, Brasil, 2014.

Interlocking Concrete Pavement Institute. Glossary of Terms for segmental Concrete Pavement. Vancouver, Canada, 2013.

LEVITT, M.. Precast concrete: manufacture, properties and usage. APPLIED SCIENCES PUBLISHERS. New York, EUA, 1982.

MAKING QUALITY PAVER WITH COLUMBIA EQUIPMENT. ICPI. Vancouver, Canada, 1986.

MARCHIONI, M. L.. Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada. Dissertação (Mestrado). USP. São Paulo, Brasil, 2012.

MATTOS, A. D. Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. PINI, São Paulo, Brasil, 2006.

MENOSSEI, R. T.. Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. Dissertação (Mestrado). UNESP. Ilha Solteira, Brasil, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. PINI, São Paulo, Brasil, 1994.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J.J.. Tecnologia do Concreto, BOOKMAN, Porto Alegre, Brasil, 2013.

OLIVEIRA, A. L.. Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação. Tese (Doutorado). UFSC. Florianópolis, Brasil, 2004.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R.; Tecnologia do Concreto de Cimento Portland, Apostila, UFSC, Florianópolis, Brasil (1999).

RODRIGUES, P. P. F.. Fabricação de blocos Pré-moldados de concreto para Pavimentação – Prática recomendada. ABCP. São Paulo, Brasil, 1995.

SBRIGHI, C.. Para cada tipo de concreto, um tipo de brita. Em: <cimentoitambe.com.br/para-cada-tipo-de-concreto-um-tipo-de-brita>. Acesso em 26 de maio de 2015.

SANEPAR. Decreto Nº 2010/2015. Disponível em: <site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/clientes2012/decretotabelaset2015.pdf>. Acessado em 28 de outubro de 2015.

SENÇO, W.. Manual de técnicas de Pavimentação. Volume 1. PINI. São Paulo, Brasil, 2001.

SENÇO, W.. Manual de técnicas de Pavimentação. Volume 2. PINI. São Paulo, Brasil, 2001.

SINTRACONPB, CONVENÇÃO COLETIVA DE TRABALHO 2015/2016. <sintraconpb.com.br/ckfinder/userfiles/files/cct_art_02.pdf>. Acesso em 26 de outubro de 2015.

TANGO, C. E. S.. Fundamentos da dosagem de concreto para blocos estruturais. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, Brasil, 1994.

VAZ, R.; MARUCIO, C. G.; MAKOLIN, C. H. L.; ESPINELLI, U.. Estoque de Materiais. Equipe de Obra, Edição 37, Julho de 2011. PINI. Em <equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/37/estoque-de-materiais>. Acesso em 08 de junho de 2015.