

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JESSICA RIBEIRO VALADÃO
PRISCILA RIBEIRO BETIOL**

**Esclerometria como ferramenta de controle de qualidade para peças de
concreto para pavimentação.**

**PATO BRANCO
2015**

JESSICA RIBEIRO VALADÃO
PRISCILA RIBEIRO BETIOL

Esclerometria como ferramenta de controle de qualidade para peças de concreto para pavimentação.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray.

PATO BRANCO
2015



Ata de Defesa Pública nº 27-TCC/2015

Pato Branco, 17/11/2015.

No dia 17 de novembro de 2015, às 16h30min, na Sala de Treinamento, reuniu-se a Comissão Examinadora de Defesa Pública, composta pelos membros Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY, Prof. Msc. PAULO CÉZAR JÚNIOR e Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA , sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública do TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO do(s) discente(s) PRISCILA RIBEIRO BETIOL e JÉSSICA RIBEIRO VALADÃO, intitulado “ESCLEROMETRIA COMO FERRAMENTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO”. Após a exposição, o(s) discente(s) foi argüido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo(s) discente(s).

Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY
Orientador
DACOC/UTFPR-PB

Prof. Msc. PAULO CÉZAR JÚNIOR
Membro da Comissão Examinadora

Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA
Membro da Comissão
DACOC/UTFPR-PB

JÉSSICA RIBEIRO VALADÃO

PRISCILA RIBEIRO BETIOL

Profa. Dra. ELIZÂNGELA M. SILIPRANDI
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
DACOC / UTFPR-PB



TERMO DE APROVAÇÃO

ESCLEROMETRIA COMO FERRAMENTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

PRISCILA RIBEIRO BETIOL
e
JÉSSICA RIBEIRO VALADÃO

No dia 17 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 a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº27-TCC/2015.

Orientador: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. PAULO CÉZAR JÚNIOR (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC/UTFPR-PB)

Primeiramente a Deus, por nos guiar, iluminar e dar forças para chegarmos até aqui. Aos nossos familiares e amigos por nos ajudar a tornar este sonho possível. Ao nosso orientador, Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray, por toda a paciência, dedicação e por nos passar um pouco de seu vasto conhecimento sobre a engenharia e sobre a vida.

RESUMO

BETIOL, Priscila R. e VALADÃO, Jessica R. **Esclerometria como ferramenta de controle de qualidade para peças de concreto para pavimentação**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Embora o termo controle de qualidade tenha crescido muito nos últimos séculos, é possível observar que a humanidade sempre se preocupou com este tipo de controle. Porém, é notável que com o aumento da tecnologia e a industrialização o controle de qualidade fique cada vez mais necessário. Entre os setores que mais cresceram estão a indústria de pré-moldados para a construção civil, dentre elas pode-se destacar a de peças de concreto para pavimentação. As peças de pré-moldados têm como objetivo aumentar a produtividade e teoricamente a qualidade do produto final. Uma das características que são esperadas de peças pré-moldadas são que suas características físicas, como a resistência à compressão, estejam dentro de um determinado padrão estabelecido em normas específicas. Porém, como o processo de fabricação é rápido, onde são feitos milhares de peças por dia, o controle de qualidade não acompanha este raciocínio. Geralmente o controle de qualidade está relacionado com a resistência à compressão, a qual é determinada usualmente por meio de ensaio destrutivo. Os ensaios destrutivos são realizados por prensas, e só fornecerá um resultado final com a idade de 28 dias. Com o objetivo de agilizar este processo surgiu a possibilidade da utilização de ensaios não destrutivos, que por sua vez, pode ser relacionado com o ensaio destrutivo aos 28 dias. Entre o ensaio destrutivo mais utilizado e viável está o ensaio de esclerometria, o qual determina dureza das peças.

Palavras chaves: Esclerometria; Controle de qualidade de peças de concreto para pavimentação; Peças de concreto para pavimentação; Resistência à Compressão.

ABSTRACT

Although the term quality control has grown tremendously in recent centuries, it's possible to see that humanity has always been concerned with this type of control, for example the Egyptian embalming. However, it is remarkable that with the increase of the manufacturing technology the quality control becomes increasingly necessary. Among the sectors that grew the most are the precast industry for construction, among which it can be highlighted the concrete pavers. The precast pieces are designed to increase productivity and theoretically the quality of the final product. One of the characteristics that are expected pre-molded parts is that their physical characteristics, such as compression resistance, are within a certain pattern established on specific standards. However, because the manufacturing process is very fast, which are made thousands of pieces per day, the quality control does not follow this reasoning. Generally the quality control is related to the compressive strength, which is usually determined by destructive testing. The destructive tests are carried out by presses, and can only give a final result at the age of 28 days. In order to expedite this process came about the possibility of using non-destructive testing, which in turn can be related to the destructive test at 28 days. Among the most common and viable destructive testing this the rebound hammer test, which determines hardness of parts.

Keywords: Sclerometry; Quality control of concrete paving; Concrete paving; Compression resistance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice esclerométrico do 1º lote ao 3º dia.....	39
Tabela 2: Índice esclerométrico do 2º lote ao 3º dia.....	39
Tabela 3: Índice esclerométrico do 3º lote ao 3º dia.....	40
Tabela 4: Índice esclerométrico do 4º lote ao 3º dia.....	40
Tabela 5: Índice esclerométrico do 5º lote ao 3º dia.....	41
Tabela 6: Índice esclerométrico do 1º lote ao 7º dia.....	41
Tabela 7: Índice esclerométrico do 2º lote ao 7º dia.....	42
Tabela 8: Índice esclerométrico do 3º lote ao 7º dia.....	42
Tabela 9: Índice esclerométrico do 4º lote ao 7º dia.....	43
Tabela 10: Índice esclerométrico do 5º lote ao 7º dia.....	43
Tabela 11: Índice esclerométrico do 1º lote ao 28º dia.....	44
Tabela 12: Índice esclerométrico do 2º lote ao 28º dia.....	45
Tabela 13: Índice esclerométrico do 3º lote ao 28º dia.....	45
Tabela 14: Índice esclerométrico do 4º lote ao 28º dia.....	46
Tabela 15: Índice esclerométrico do 5º lote ao 28º dia.....	46
Tabela 16: Resistência à Compressão do 1º lote.....	47
Tabela 17: Resistência à Compressão do 2º lote.....	47
Tabela 18: Resistência à Compressão do 3º lote.....	48
Tabela 19: Resistência à Compressão do 4º lote.....	48
Tabela 20: Resistência à Compressão do 5º lote.....	48
Tabela 21 - controle de aceitação dos lotes.....	51
Tabela 22 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 3º dia.....	53
Tabela 23 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 3º dia.....	54
Tabela 24 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 7º dia.....	54
Tabela 25 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 7º dia.....	55
Tabela 26 - Resistência à Compressão do 6º lote.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - exemplo de peças para pavimentação de concreto do tipo I	11
Figura 2 - Exemplo de peças de concreto do tipo II	12
Figura 3- Exemplo de peças de concreto do tipo III	12
Figura 4 - Exemplo de peças de concreto do tipo IV	13
Figura 5 - Formas gráficas aproximadas dos esforços mais comuns.....	17
Figura 6 - Número de peças necessárias de acordo com cada ensaio.....	23
Figura 7- Coeficiente de Student.....	25
Figura 8 - Esquema para realização do ensaio esclerométrico com 9 impactos.....	27
Figura 9 - Esquema para realização do ensaio esclerométrico com 16 impactos.....	27
Figura 10 - Exemplo de aplicação do esclerômetro.	28
Figura 11 - Esclerômetro.....	29
Figura 12 - Leitura do esclerômetro.	30
Figura 13 - Exemplo de fixação da peça para o ensaio esclerométrico.	31
Figura 14 - Exemplo da face 1.	31
Figura 15 - Exemplo da face 2.	32
Figura 16 - Exemplo de gabarito utilizado para aplicação do esclerômetro.	32
Figura 17 - Caixa para auxiliar na execução do ensaio esclerométrico (alça e plástico).....	36
Figura 18 - Caixa para auxiliar na execução do ensaio esclerométrico.	36
Figura 19 – Posicionamento da peça para a execução do ensaio esclerométrico na segunda empresa.....	37
Figura 20- Correlação entre Índice Esclerométrico e Resistencia à compressão em 3 dias.....	49
Figura 21- Correlação entre Índice Esclerométrico e Resistência á compressão em 7 dias.....	50
Figura 22 - Correlação entre Índice Esclerométrico e Resistencia à compressão em 28 dias.....	50
Figura 23 - Correlação entre Índice Esclerométrico no anteparo e Resistencia à compressão em 3 dias.	57
Figura 24 - Correlação entre Índice Esclerométrico no anteparo e Resistencia à compressão em 3 dias.	57

Figura 25- Correlação entre Índice Esclerométrico no anteparo e Resistencia à compressão em 7 dias.	58
Figura 26- Correlação entre Índice Esclerométrico na prensa e Resistencia à compressão em 7 dias.	58

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS	4
1.1.1	Objetivo geral	4
1.1.2	Objetivos específicos.....	5
1.2	JUSTIFICATIVA	5
2.	QUALIDADE	7
3.	PEÇAS PRÉ-MOLDADAS.....	10
3.1	PEÇA DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	10
3.2	MATERIAIS CONSTITUÍNTES	14
3.2.1.	Cimento Portland.....	14
3.2.2.	Agregados	15
3.2.3.	Água	15
3.3.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	16
3.4.	ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA CORELACIONAR COM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEÇAS DE CONCRETO SIMPLES	18
3.4.1.	Esclerometria.....	18
3.4.1.1.	Método da reflexão por choque	19
3.4.1.2.	Método da Impressão	20
3.5.	Materiais escolhidos	20
4.	METODOLOGIA.....	21
4.1	Ensaio de resistência à Compressão das peças de concreto para pavimentação.....	22
4.1.1	Equipamentos.....	22
4.1.2	Amostragem	22
4.1.3	Preparação das peças.....	23
4.1.4	Aplicação das cargas.....	24
4.1.5	Cálculo da Resistencia à compressão.....	24

4.2	Ensaio Esclerométrico.....	26
4.2.1	Fatores que podem influenciar no índice esclerométrico	33
4.3	Alterações feitas para a realização dos ensaios da segunda empresa	34
4.3.1	Execução de um método mais acessível para a fixação das peças para auxiliar nos ensaios esclerométricos	35
5.	RESULTADOS OBTIDOS	38
5.1	Índices esclerométricos primeira empresa	38
5.2	Resistência à compressão das peças da primeira empresa	47
5.3	Gráficos índice esclerométrico X resistência à compressão da primeira empresa	49
5.4	Controle de aceitação dos lotes da primeira empresa.....	50
5.5	Conclusão dos resultados com a primeira empresa.....	51
5.6	Índices esclerométricos da segunda empresa.....	52
5.7	Resistência à compressão das peças da SEGUNDA empresa e controle de aceitação.....	56
5.8	Gráficos índice esclerométrico X resistência à compressão da segunda empresa	56
5.9	Conclusão dos resultados com a segunda empresa	59
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
7.	REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que o controle da qualidade já era realizado em meados do século XIII a.C., por artesãos que marcavam suas peças para identifica-las posteriormente (AMBROZEWICZ, 2003). Desta forma eles possuíam todo o controle da qualidade, visto que, os mesmos eram responsáveis por toda a produção, desde a escolha do material a ser utilizado até a entrega do produto final ao consumidor.

Mesmo que o conceito de qualidade só apareça nos últimos séculos, a normatização dos processos produtivos é uma precaução utilizada a milhares de anos, o que pode ser comprovado, segundo Ambrozewicz (2003), com a citação do Livro dos Mortos, onde os egípcios detalhavam o processo de embalsamamento dos cadáveres.

O conceito de produção em massa é datado a partir da Revolução Industrial, onde com o crescimento do comércio, surgiu a mecanização dos processos. Ambrozewicz (2003) relata que em virtude desse tipo de produção surgiram problemas com o controle da qualidade, e que para solucionar-los, o primeiro comitê de normas nacionais foi criado na Inglaterra, em 1901. Fayol e Taylor podem ser apontados como os primeiros economistas a estudarem estes assuntos e formarem uma administração de empresas mais moderna.

No decurso da primeira Guerra Mundial houve um grande aumento na produção industrial, e com isso surgiram os inspetores em tempo integral. A atividade de inspeção foi formalmente integrada ao controle de qualidade em 1922, a partir disto a qualidade passou a ser vista como responsabilidade gerencial e independente. Os inspetores eram responsáveis por identificar os produtos com defeitos, os quais eram removidos e descartados sem nenhum estudo para identificação e correção destes defeitos (BARÇANTE, 1998).

Barçante (1998) relata que na década de 1930 um grupo de pesquisadores unindo esforços deu início ao controle estatístico de processos, pois com o crescimento das produções, o modelo de inspeção de todas as peças tornou-se caro, demorado e ineficaz. Em 1924, Shewhart, desenvolveu O Gráfico de Controle de Processos, o qual ainda é utilizado nas indústrias, esse pesquisador também

estruturou a gestão corretiva, onde as causas dos problemas passam a ser identificadas e corrigidas.

A segunda Guerra Mundial trouxe a necessidade de outras formas de solução para problemas na produção em massa de armamentos e munições. Segundo Barçante (1998), foram desenvolvidas as técnicas de amostragem, nos Estados Unidos da América. O autor cita que com o objetivo de controlar a qualidade através dos métodos estatísticos, houve uma grande oferta de programas de capacitação, tanto quanto as técnicas de amostragem como ao controle de processo.

Durante o período da segunda guerra os produtos destinados ao uso militar tiveram prioridade, o que fez com que a produção de bens de consumo fosse diminuída. No final da guerra havia escassez dos bens para uso civil, o que fez com que as empresas passassem a ter como objetivo cumprir os prazos de entrega, que resultou em uma grande deterioração da qualidade dos produtos. Esta falta de produtos, também, trouxe ao mercado novos produtores, os quais devido a sua falta de experiência contribuíram para a decadência da qualidade.

Na década de 80, foi implantado um programa para a modernização da indústria, adicionando inúmeras técnicas de produção, dentre as quais Ambrozewich (2003) menciona a Qualidade Total, que tem como objetivo padronizar o método de gestão, produção e verificação, através de diversas formas, que hoje conhecemos por ISO's.

Ambrozewicz (2003) determina a obtenção da qualidade como sendo um processo de controle que se inicia na matéria-prima, passando por controle de processos, qualificações dos funcionários, e termina no atendimento pós-entrega ao cliente.

Nos últimos anos notou-se um grande crescimento na área da construção civil, esse aumento na demanda de projetos e construções proporcionou um maior uso de peças pré-fabricadas, pois essas atendem a necessidade de uma maior velocidade na conclusão das construções e da racionalização dos serviços.

A necessidade de aumentar a produtividade das obras vem estimulando a industrialização da construção civil, a qual segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, tem como objetivo transformar o canteiro de obra em uma grande

montagem de sistema produtivo, para que possa ocorrer uma queda no desperdício de materiais e de tempo.

Devido às imposições do mercado, as quais exigem menores prazos dentro dos custos definidos para as obras, a indústria de pré-fabricados de concreto apresenta um elevado crescimento, o qual envolve tanto a produção de peças de grande volume, como pilares, lajes e vigas, como elementos menores, como peças para pavimentação (Andrade Filho, Costa e Silva e Andrade, 2010).

O uso de componentes pré-moldados, os quais são produzidos em fábricas e depois transportados para o canteiro de obras, é o método mais racional de industrializar o processo construtivo. Essa tecnologia também atende a gestão voltada ao *just in time*, no qual os componentes não permanecem no canteiro de obras, ao invés disso chegam apenas na hora da montagem, evitando-se assim o estoque de materiais e proporcionando uma redução da mão de obra.

A industrialização da construção civil forneceu um grande avanço nas técnicas de fabricação de peças pré-moldadas, ocasionando inúmeros benefícios, entre eles, rapidez, agilidade e qualidade. Yazigi (2009) diz que a qualidade da estrutura de concreto depende diretamente, porém não exclusivamente, da execução da estrutura e do controle tecnológico.

Um dos requisitos que se espera das peças pré-moldadas é que suas características físicas e mecânicas sejam o mais próximo possível das especificações pré-estabelecidas, o que pode proporcionar uma maior confiabilidade aos produtos finais.

Algumas das características mecânicas podem ser verificadas através de ensaios destrutivos, como a resistência à compressão, que consiste em aplicar cargas em corpos de prova até que esses se rompam. Porém, com esse ensaio há a perda do material rompido, ou seja, de um produto que poderia ser comercializado, além do que se faz necessário um laboratório específico para sua realização.

Já características mecânicas como dureza e uniformidade podem ser determinadas por ensaios não destrutivos, dentre eles, a esclerometria e a ultrassonografia, respectivamente. Por meio desses pode-se realizar ensaios *in loco*, o que reduz tempo, custos com transporte de amostras e com laboratórios, eles

também não desperdiçam materiais, pois durante sua realização raramente algum produto é destruído.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização da esclerometria, como forma de aprimorar o controle de qualidade durante o processo produtivo de peças de concreto para pavimentação.

Até o presente momento os procedimentos de qualidade adotados na indústria de peças de concreto para pavimentação tem sido a realização de ensaios de resistência à compressão na idade de 28 dias. Em decorrência disso e buscando-se uma alternativa mais rápida recorreu-se a possibilidade da utilização de ensaios não destrutivos, dentre eles a esclerometria.

A esclerometria é um ensaio não destrutivo que pode ser utilizado para determinar a dureza superficial das peças de pavimentação e, embora existam vários fatores que afetam a dureza sem afetar a resistência à compressão, pode ainda obter fortes correlações entre as mesmas.

Para isto, inicialmente será realizado o ensaio esclerométrico e posteriormente o ensaio de compressão. Com os resultados obtidos será gerada uma curva de correlações entre os resultados do ensaio destrutivo com o ensaio não destrutivo. Essa curva poderá ser utilizada, por fabricantes, para saber qual a resistência aproximada dos produtos utilizando apenas os dados fornecidos por um ensaio não destrutivo, o qual poderá ser realizado nos primeiros dias após a fabricação das peças, fornecem assim mais tempo para correção de possíveis defeitos e perdas de lotes futuros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Introduzir a esclerometria como um instrumento de controle de qualidade no processo produtivo de peças de concreto para pavimentação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma breve revisão bibliográfica sobre a história e evolução do controle de qualidade nos processos produtivos, sobre ensaios não destrutivos e sobre peças de concreto para pavimentação;
- Realizar ensaio não destrutivo – ensaio esclerométrico - posteriormente, ensaio de resistência à compressão em diferentes lotes;
- Correlacionar os índices esclerométricos com a resistência à compressão das peças de pavimentação, estabelecer intervalo de confiança para média e para valores individuais;

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos notou-se, em diversos países, que as fábricas de peças pré-moldadas, com o apoio da sociedade, sofreram um grande desenvolvimento. Porém, no Brasil as fábricas de pré-moldados só começaram a receber maior apoio e possibilidade de serem mais difundidas e qualificadas a partir do ano de 2001, quando a Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) foi criada.

Atualmente, podem-se encontrar diversos tipos de peças pré-moldadas, as quais atendem quase todas as necessidades de uma construção, pavimentação e canalização. Em meio a essa diversidade pode-se destacar as peças de pavimentação de concreto, que possuem pequenas dimensões, são de fácil manuseio e podem ser adquiridos em praticamente qualquer lugar do país.

Com o aumento crescente da demanda surgiram no mercado diferentes tipos de máquinas, equipamentos, aditivos, adições, os quais propiciaram a produção de peças com melhor qualidade, com maior produtividade e, com menor custo.

O controle de qualidade tipicamente adotado é o da verificação da conformidade dos lotes por meio da resistência característica. Para a determinação dessa resistência faz-se necessário a realização de ensaios de resistência à compressão na idade de 28 dias. Ocorre quando o fabricante recebe tais resultados,

os lotes podem ter sido colocados no mercado, o que podem gerar transtornos aos clientes e fabricantes.

Diante de cenário e, buscando encontrar uma alternativa que pudesse oferecer informações mais rápidas quanto à qualidade do processo produtivo, identificou-se que uma das possíveis alternativas a serem utilizadas poderia ser emprego dos ensaios não destrutivos, mais especificamente a esclerometria.

Estes ensaios além da velocidade de execução proporcionam uma perda quase nula de produtos. Porém, ensaios não destrutivos, apesar de fornecerem características específicas dos produtos, não fornecem a resistência à compressão, a qual pode se dizer, é a característica considerada mais importante.

Para a realização dos referidos ensaios uma das condições essenciais é a aquisição do equipamento, das normas e, também investimento na capacitação do uso do mesmo. Outra dificuldade operacional é que as peças para serem ensaiadas precisam ser fortemente fixadas.

Neste trabalho pretende-se correlacionar o valor da resistência à compressão de peças para pavimentação com os valores obtidos no ensaio não destrutivo de esclerometria. Oferecendo como diferencial uma curva de correlação entre os resultados desses ensaios. A partir dessa curva será possível que o profissional obtenha um valor aproximado da resistência das peças e sua uniformidade, sem a necessidade de rompê-las, apenas com o uso dos resultados do ensaio esclerométrico, o qual poderá ser executado e seus resultados analisados na própria empresa ou canteiro de obra.

2. QUALIDADE

Teboul (1991, *apud* PALADINI, 2009) diz que o controle de qualidade não era necessário quando os artesões possuíam todo o processo produtivo de determinado produto. Eram eles quem selecionavam as matérias primas, fabricavam e entregavam seus produtos na casa de cada consumidor final. Visto que não era necessário que cada peça fosse exatamente igual à outra, o controle de qualidade era feito pelo próprio artesão do início ao fim do processo. O autor explica que após a revolução industrial tais conceitos de controle de qualidade foram alterados, já que a relação entre fabricante e cliente mudou tal conceito, trazendo a produção em massa, a indústria lógica e a divisão de trabalho.

“O controle de qualidade nasceu da produção em massa de diferentes componentes de um produto e de sua montagem em linha, portanto da necessidade de fabricar peças padronizadas e intercambiáveis” (TEBOUL, 1991, *apud* PALADINI, 2009).

Juntamente com o crescimento de produção após a revolução industrial, surgiu a possibilidade de intercâmbio entre as peças produzidas em um grande lote, o que pode diminuir a padronização conforme Teboul (1991, *apud* PALADINI, 2009) explica.

Teboul (1991, *apud* PALADINI, 2009) supõem que a produção em massa pode aumentar a distância entre operários e funcionários responsáveis, os quais possuem objetivos diferentes. O operário tem como principal objetivo produtividade, sendo que geralmente seu salário dependerá diretamente dela, já os responsáveis legais têm como meta, a qualidade do produto final, aumentando rotatividade, e por fim gerar lucro.

Segundo Teboul (1991, *apud* PALADINI, 2009) esta diferença entre objetivos é o motivo do surgimento do controle de qualidade, o qual poderá incluir instrumentos, tecnologias e métodos cada vez mais elaborados, que servirão como a ligação entre produtividade, qualidade e confiabilidade.

Durante a história da humanidade, sempre houve a procura pelo que mais se adequasse a necessidade humana, a relação cliente-fornecedor sempre esteve

presente seja dentro das famílias ou da sociedade em geral. No final do 2º milênio vê-se a busca pela qualidade total, pela sobrevivência e competitividade (BARÇANTE, 1998).

Para Helene e Terzian (1993) a qualidade deve ser bem definida e ter parâmetros técnicos mensuráveis, pois para a engenharia a qualidade deve ser objetiva e não subjetiva. Para isto deve-se ter preferência por parâmetros quantitativos.

Helene e Terzian (1993) relatam também que o conceito de qualidade evoluiu com o passar dos anos, passando de um luxo nos anos 50 – 60, para despesa nos anos 60-70, então a ser um argumento de venda nos anos 70-80, uma fonte de lucro nos anos 80-90, e finalmente uma questão de sobrevivência nos anos 90.

Já Segundo Barçante (1998) a qualidade evoluiu basicamente através de quatro eras, dentro das quais a forma de buscar a qualidade assumiu formas distintas, essas eras são:

- Era da Inspeção – qualidade com foco no produto;
- Era do Controle Estatístico da Qualidade – foco no processo;
- Era da Garantia da Qualidade – foco no sistema;
- Era da Gestão da Qualidade Total – foco no negócio.

Barçante (1998) ainda relata que a chamada globalização teve um grande impacto mundial na gestão da qualidade, houve uma explosão do processo de certificação ISSO's, além de a maioria dos países passarem a dar prêmios nacionais da qualidade, a qualidade passou a ser uma ferramenta eficaz nos negócios e, a satisfação do cliente passou a ser não só em relação às características do produto, mas também a aspectos sociais e ecológicos.

De acordo com Samohyl (Gestão da qualidade, 2005) o termo qualidade seria o antagônico de variabilidade, ou seja, a empresa que tiver muita qualidade terá teoricamente pouca variabilidade de produtos. Esta visão existe desde a década de 30, quando segundo Samohyl (Gestão da qualidade, 2005) o norte americano Walter Shewhart estudou a área de controle estatístico de processos.

O controle estatístico de processos surgiu com o objetivo de tornar possível o controle de qualidade, pois é através dela que empresas do mundo todo conseguem transformar uma amostra aleatória de um determinado lote, em um resultado final

confiável. O controle de qualidade ideal segundo Samohyl (Gestão da qualidade, 2005) seria verificar a qualidade de cada produto individual, portanto inviável.

Tal controle estatístico exige funcionários específicos com conhecimento suficiente, tempo e amostragens, o que pode levar a custos elevados, porém necessários.

A priorização das ações e definição do que pode causar problemas, a análise do investimento de capital, fornecer atividades que incentivem a qualidade e a prevenção e analisar os resultados de acordo com o desempenho são de acordo com os autores Miguel e Rotondaro (Gestão da qualidade, 2005) mais alguns objetivos que podem causar custos da qualidade.

Um sistema de garantia da qualidade, segundo Helene e Terzian (1993), envolve tudo que esteja relacionado com a obtenção e uso do produto final. Eles ainda citam como essencial para este sistema a necessidade de consideração do controle financeiro, do controle sobre o andamento físico e da qualidade, assim como a garantia da qualidade.

Inicialmente a evolução da qualidade no mundo foi basicamente para as indústrias, sendo que as prestadoras de serviço ficaram de lado desse processo, mas com sua crescente importância na economia mundial, esse setor acabou absorvendo parte dos conhecimentos e lições da qualidade na indústria (BARÇANTE, 1998).

Barçante (1998) relata que a partir da década de 1990, devido ao trabalho de vários especialistas como Karl Albrecht, James Telboul, entre outros, muitas empresas de prestação de serviço no mundo lançaram-se na busca da qualidade total. Segundo o autor para uma empresa ser considerada de qualidade total, esta deve ser eficaz e eficiente em tudo o que faz, em todos os níveis. Sendo que eficácia significa fazer a coisa certa (aponta para o processo), e eficiência constitui de fazer certas as coisas (aponta para o resultado).

3. PEÇAS PRÉ-MOLDADAS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define, em sua NBR 9062/2006, elemento pré-moldado como sendo aquele que é moldado previamente fora do local de utilização definitiva, e elemento pré-fabricado como elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra.

Segundo EL DEBS (2000) desde o final do século XIX e início do século XX até o final da segunda guerra mundial (1945) o desenvolvimento do pré-fabricado evoluiu juntamente com o desenvolvimento do concreto armado, a partir deste momento devido à necessidade de reconstrução rápida em grande escala e a falta de mão de obra acabou se consolidando como a forma mais difundida e viável de se promover a industrialização da construção.

3.1 PEÇA DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

De acordo com a NBR 9781 (2013) as peças de concreto podem ser definidas como componentes pré-moldados executados em concreto, o qual é utilizado de revestimento para pavimentos intertravados.

A pavimentação intertravada, comumente chamada *paver*, segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) é o:

“pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas sem camada de assentamento e sujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção”.

Outra definição para peças de concreto para pavimentação é fornecida por Yazigi (2009), que às explica como sendo blocos de concreto vibro prensados confeccionados industrialmente, os quais não possuem armaduras, fendas ou deformações e apresentam arestas vivas. Ele também determina que quando utilizados, os mesmos devem ser assentados diretamente ao solo (devidamente

drenado e apiloado) sobre uma camada de 5 cm de areia ou pó de pedra. Podem ainda ser assentadas de forma isolada, porém sem ultrapassar um centímetro entre as peças e utilizando asfalto, pedrisco ou areia para substituir o rejuntamento.

Para Yazigi (2009) a classificação das peças se dá conforme suas espessuras, as quais se dividem em três categorias, constituídas por: leve (de 5 a 6,5cm de espessura), média (8 cm de espessura) ou pesada (10 cm de espessura).

Já de acordo com a NBR 9781 as peças de concreto para pavimentação podem ser classificadas em quatro diferentes tipos, sendo eles:

- *Tipo I:* peça com formato próximo ao retangular e que possui relação comprimento/largura igual a dois. Devem ser arranjados de forma que se encaixem entre si nos quatro lados, podendo ser assentados em fileiras ou em espinha de peixe; (Figura 1)
- *Tipo II:* possui formato único, sendo diferente do retangular, e devem ser assentados somente em fileiras; (Figura 2)
- *Tipo III:* formado por figuras geométricas características como trapézios, hexágonos, triedros etc. Seu peso é superior a 4 kg; (Figura 3)
- *Tipo IV:* é composto por um conjunto de peças de concreto com diferentes tamanhos, ou uma peça com juntas falsas. Podem ser assentadas com mais de um padrão. (Figura 4)

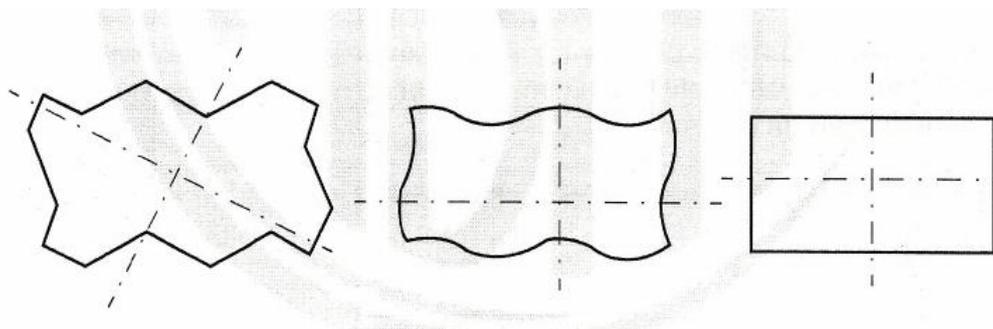


Figura 1 - exemplo de peças para pavimentação de concreto do tipo I

FONTE: NBR 9781, 2013.

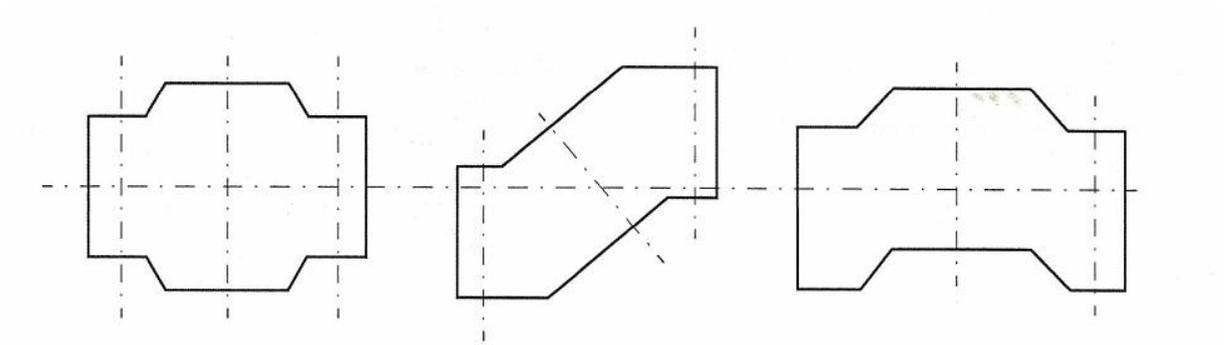


Figura 2 - Exemplo de peças de concreto do tipo II
FONTE: NBR 9781, 2013.

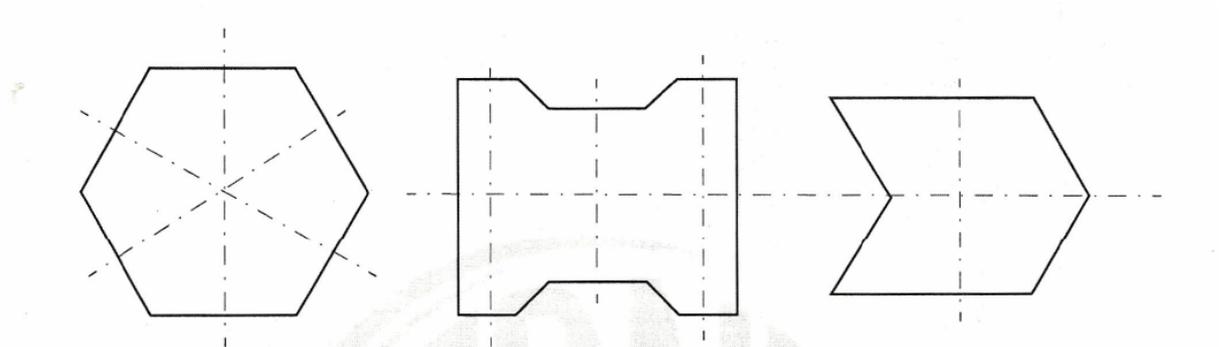


Figura 3- Exemplo de peças de concreto do tipo III
FONTE: NBR 9781, 2013.

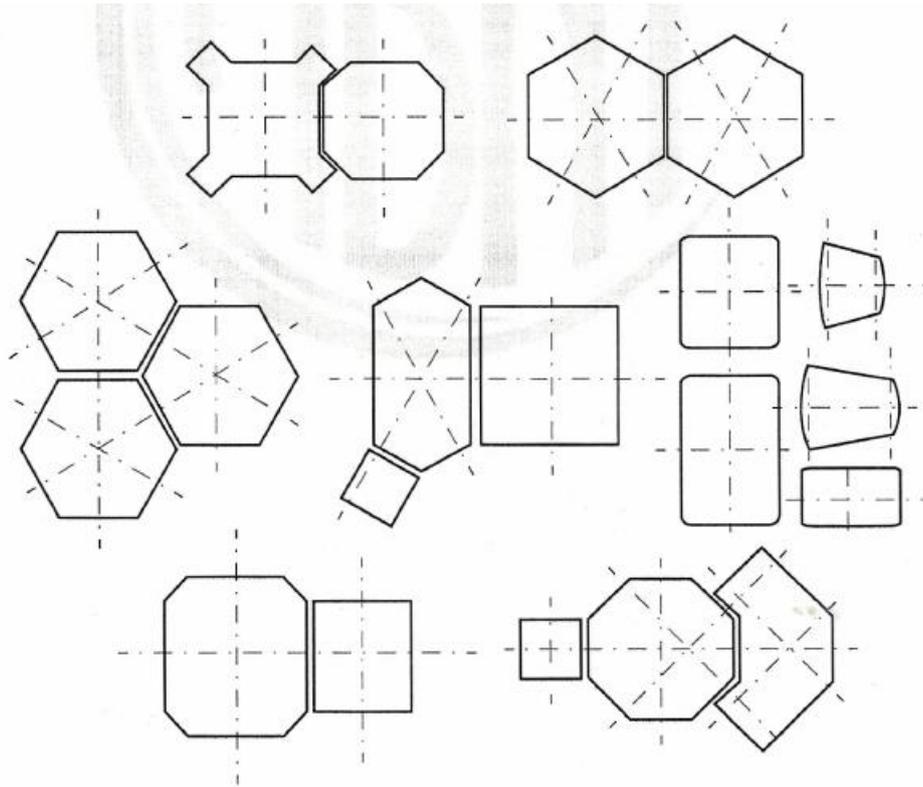


Figura 4 - Exemplo de peças de concreto do tipo IV

FONTE: NBR 9781, 2013.

A norma também cita as dimensões que as peças devem atender, sendo a medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm e medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm. E com relação à variação de dimensão em qualquer direção (comprimento, largura ou espessura) a tolerância é de ± 3 mm.

Segundo o engenheiro Abdo Hallack, especialista em pavimentação da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), algumas das vantagens dos pavimentos intertravados são a versatilidade do material, facilidade de estocagem, homogeneidade e qualidade estética. Ele também diz que algumas das propriedades devem ser ressaltadas, tais como: permitir a utilização imediata do pavimento, possíveis trincas das camadas de base não são transmitidas para superfície, mesmo que ocorra a acomodação do subleito o pavimento mantém sua continuidade, e se for necessário reparos, estes são fáceis e rápidos.

3.2 MATERIAIS CONSTITUÍNTES

Os materiais utilizados na produção de blocos de concreto e peças de concreto para pavimentação são basicamente: cimento Portland, agregados graúdo e miúdo e água. Na dosagem desses concretos também podem ser adicionados outros componentes como adições minerais, pigmentos, aditivos, etc., dependendo dos requisitos requeridos para os produtos a serem fabricados. Esses materiais estão descritos nas próximas seções.

O que fará diferença é a proporção de cada material que será utilizado, essa proporção ficará a cargo do responsável técnico pela fabricação dos produtos, o qual levará em conta os requisitos de qualidade esperados para a peça final. Por exemplo, nas peças de concreto para pavimentação a NBR 9781 (2013) define duas resistências a ser atendidas, dependendo da sua função, para essas resistências serem conseguidas o responsável terá que achar a proporção certa de cada material.

3.2.1. Cimento Portland

O cimento Portland pode ser definido como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes e ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, ainda que fique em contato com a água, o cimento Portland não se decompõe mais (ABCP, 2009).

A ASTM C 150 define o cimento Portland como sendo um aglomerante hidráulico feito a partir da moagem do clínquer, o qual consiste basicamente de silicatos de cálcio hidráulicos, comumente com uma ou mais formas de sulfato cálcio como um produto de adição.

Segundo a ABCP atualmente no mercado estão disponíveis oito opções de cimento Portland, todos os quais tem como base o cimento Portland comum. Esses cimentos são:

1. Cimento Portland Comum (CP I);
2. Cimento Portland Composto (CP II);
3. Cimento Portland de Auto Forno (CP III);
4. Cimento Portland Pozolânico (CP VI);

5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);
6. Cimento Portland Resistência a Sulfatos (RS);
7. Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
8. Cimento Portland Branco (CPB).

Para a fabricação das peças de concreto para pavimentação pode-se usar praticamente todos os tipos de cimento, por isso para a escolha do mesmo, é conveniente buscar qual deles proporcionará a qualidade desejada com o menor custo de produção.

3.2.2. Agregados

Entende-se como por agregado o material granular, sem forma e volumes definido, de dimensões e propriedades estabelecidas, tais como a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas pela trituração de rocha. Os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os encontrados já prontos na natureza, e os artificiais são os produzidos por algum processo industrial.

Os agregados podem ser classificados também de acordo com a sua granulometria em grãos e miúdos. Sendo que segundo a NBR 7211 (2009) esses são definidos como: agregado miúdo é o agregado que passa pela peneira de 4,75 mm, e o agregado grão é o agregado cujos grãos passam pela peneira de 75 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm.

A fase de granulometria do concreto, segundo Azeredo (1997, p. 60) é a fase mais difícil da dosagem, pois é quando se determina as quantidades separadas dos agregados miúdo e grão que irão constituir o concreto.

Os agregados constituem entre 60 e 75% do volume total do concreto, e são responsáveis por transmitir as tensões aplicadas ao concreto pelos seus grãos, reduzem o efeito das variações volumétricas causadas pela retração e também reduz o custo concreto (ABCP).

3.2.3. Água

A água para uso no concreto segundo a NBR 15900 (2009) não pode conter substâncias que alterem as propriedades físicas e químicas do concreto. Essa

norma também diz que a água potável de abastecimento pública, pode ser utilizada sem restrições para concreto e argamassa.

Azeredo (1997, p. 54) diz que a água deve ser limpa, isenta de álcalis, óleos e ácidos, de modo geral, a água potável serve. A água é o elemento que ao misturar-se ao cimento forma uma pasta, a qual ao secar, endurece e proporciona uma elevada resistência mecânica.

3.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Quando um material sólido é submetido a esforços mecânicos, ele tende a se deformar (ou até se romper). Por isso na hora de se dimensionar qualquer elemento para construção civil, o comportamento de cada elemento sujeito a esforços deve ser atentamente considerado. A Figura 5 mostra formas gráficas aproximadas dos tipos de esforços mais comuns a que os elementos construtivos são submetidos:

- a) Tração: tendência do elemento para alongar na direção da força atuante;
- b) Compressão: tendência do elemento para reduzir na direção da força comprimindo;
- c) Flexão: quando ocorre uma deformação na direção perpendicular a força atuante;
- d) Torção: forças atuam em um plano perpendicular ao eixo e cada seção transversal tende a girar em relação às demais;
- e) Flambagem: esforço de compressão em uma barra de seção transversal pequena em relação ao seu comprimento, que tende a causar uma curvatura na barra;
- f) Cisalhamento: forças atuantes tendem a produzir um efeito de corte, ou seja, um deslocamento linear entre as seções transversais.

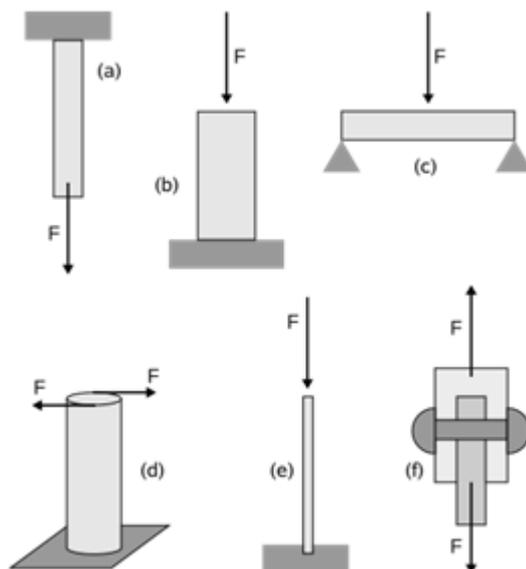


Figura 5 - Formas gráficas aproximadas dos esforços mais comuns.

FONTE: Site MSPC, 2015.

O concreto é feito principalmente para resistir ao esforço de compressão, por isso a resistência do concreto à compressão é um dos requisitos mais importantes na hora de qualquer cálculo que envolva a utilização do concreto. Para a determinação dessa resistência existem ensaios, os quais são normatizados.

A NBR 5739 (2007) é uma norma que determina o método a ser utilizado para a realização do ensaio de resistência à compressão do concreto. Para este trabalho será utilizado como base à norma NBR 9781 (2013), para a realização dos ensaios de compressão nas peças de concreto para pavimentação. Os procedimentos para determinar a resistência à compressão das peças consistem em aplicar cargas nas peças conforme será descrito nas seções seguintes.

A resistência à compressão mínima aos 28 dias de peças de concreto para pavimentação de acordo com NBR 9781 é de 35 Mpa para pavimentos onde haverá tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Já para pavimentos onde o tráfego será de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados a NBR exigem no mínimo 50 Mpa.

3.4. ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA CORELACIONAR COM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PEÇAS DE CONCRETO SIMPLES

A maior utilização do concreto fez que, engenheiros e arquitetos, tivessem uma maior liberdade na hora de projetar, o que proporcionou a oportunidade de inovações e soluções estruturais, baseando-se em características físicas e mecânicas do material. À medida que estas propriedades são mais desenvolvidas, os engenheiros calculistas podem diminuir o coeficiente de segurança, por outro lado, o concreto deve atender rigorosamente às condições mínimas estabelecidas pelo profissional (BAUER, 2008).

O concreto pode ser considerado um material composto por diversos outros materiais, com formas, dimensões e propriedades diferentes, devido a essa constituição Bauer (2008) ressalta que a execução e o conhecimento de cada material empregado são de suma importância.

Com isto, Bauer (2008) contrapõe que os laboratórios de concreto estão cada vez mais preocupados em sanar estas dificuldades. Uma das formas encontradas foi à retirada de materiais na própria concretagem do produto final, caso esta amostra não estejam de acordo com o previsto em projeto, é preciso à realização de ensaios mais específicos. Estes ensaios são realizados *in situ* e permitem que o profissional conheça os materiais internamente e superficialmente sem que ocorra a destruição da peça. São conhecidos como os ensaios não destrutivos.

Dentre os ensaios não destrutivos, foi selecionado para este trabalho o ensaio de esclerometria, por ser um aparelho de fácil acesso, ótimo custo benefício, rápido e prático.

3.4.1. Esclerometria

Este método também pode ser chamado de medição da dureza superficial, já que o ensaio se baseia em analisar o choque entre dois corpos, sendo que um deles está fixo e outro em movimento. Este método é um método empírico antigo, onde se aplicava uma força com um martelo no concreto e sua dureza era

determinada pelo som produzido e pela altura que o martelo subia após o choque, atualmente utiliza-se o esclerômetro (BAUER 2008).

Segundo NBR 7584 (2012) a esclerometria é um “método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação do concreto endurecido”.

Bauer (2008) cita que os métodos utilizando esclerômetro podem ser de duas formas, o método da reflexão por choque e o método da impressão.

3.4.1.1. Método da reflexão por choque

O método é definido por Bauer (2008) como sendo um método para determinar qual é a energia remanescente em relação à energia inicial do elemento móvel. Sendo que é preciso supor que toda a energética que incida no elemento fixo se transforme em energia de deformação, além da energia cinética após o choque permaneça somente no elemento móvel. Existem hoje no mercado quatro tipos de esclerômetros que realizam este ensaio, sendo eles: *Modelo N*, *Modelo L*, *Modelo M* e *Modelo P*.

- *Modelo tipo N (ou modelo RN)*: É o modelo mais difundido no Brasil, segundo Bauer (2008). Este modelo tem uma energia de percussão de 0,225kgm, tendo como objetivo analisar construções consideradas normais e ponte. O modelo ainda dispensa que o profissional anote todos os resultados, o próprio equipamento possui um rolo registrador que irá fornecer posteriormente todos os valores da dureza dos choques obtidos.
- *Modelo tipo L*: De acordo com Bauer (2008) possui energia de percussão de 0,075 kgm, é muito semelhante ao modelo N, diferenciando-o somente pelo objetivo. É específico para exame em elemento executados em concreto ou pedra artificial de pequenas dimensões, ou peças muito sensíveis a golpes. Seu ponto negativo é que não registra os resultados automaticamente.
- *Modelo tipo M*: Bauer (2008) cita que contem energia de percussão de 3 kgm e seu objetivo é determinar a resistência do concreto em obras

com maiores dimensões, além de ser apropriados para a verificação da qualidade em obras como estradas e aeroportos executados em concreto.

- *Modelo do tipo P*: Esse modelo tem uma energia de percussão de 0,09 kgm, sendo utilizado para peças com pouca dureza e resistência, como materiais de construção leves, estuques e revestimentos. Possui uma variação do nome como o modelo PT, que é indicado para materiais de construção com resistência a compressão extremamente baixas, entre 5 e 80 kg/cm² (BAUER, 2008)

3.4.1.2. Método da Impressão

Segundo Bauer (2008) este método utiliza o *Esclerometro Gaede*, e mede a fração da energia total do elemento móvel, que é transformada em energia de deformação permanente do elemento fixo, no qual se avalia o diâmetro da impressão d que foi deixada na superfície pela esfera.

3.5. MATERIAIS ESCOLHIDOS

Para a realização deste trabalho será necessário o fornecimento de peças de concreto para pavimentação de uma fabrica local, a qual esteja disposta a disponibilizar as mesmas gratuitamente para o auxilio do trabalho, como forma de agradecimento será disponibilizado a fabricante os resultados obtidos.

A partir disto, as peças serão adquiridas de acordo com a sua fabricação e com a disponibilidade do laboratório.

4. METODOLOGIA

Gil (2002) define pesquisa como sendo um procedimento de forma racional e sistemática, cujo objetivo é responder aos problemas propostos, além de ser necessária quando não se tem as respostas prontas, ou de forma clara. Ou seja, inicialmente é preciso determinar alguns problemas para solucioná-los durante a pesquisa, que deve ser feita conforme um planejamento pré-determinado.

As pesquisas podem ser classificadas, como exploratórias, descritivas e explicativas, conforme os objetivos gerais (GIL, 2002). As pesquisas exploratórias são aquelas que têm o objetivo de aumentar a familiaridade com certo problema, aprimorando ideias ou descobrindo intuições. Já as pesquisas descritivas tem o objetivo de estudar e descrever características de uma determinada população ou fenômeno, ou ainda uma relação entre variáveis. As pesquisas explicativas procuram identificar os motivos da ocorrência dos fenômenos, ou seja, explica as razões e dá os porquês do fenômeno em questão.

Conforme Gil (2002) existe ainda algumas pesquisas que podem estar entre as pesquisas descritivas e explicativas, pois não tem o objetivo apenas de estudar e descrever os fenômenos, e sim explicá-los posteriormente.

Outra abordagem utilizada para classificar as pesquisas, é dada pela abordagem qualitativa e quantitativa. Segundo Gressler (2004), a abordagem qualitativa é aplicada quando se deseja relatar a complexidade de determinado problema, nela não há estudos experimentais nem manipulação de variáveis. Diferentemente, a abordagem quantitativa personaliza-se pela formulação de hipóteses, definições de variáveis e quantificação de dados e informações.

Gressler (2004) cita ainda, que as hipóteses determinadas pela pesquisa quantitativa, exigem, normalmente, uma relação entre causa e efeito e suas conclusões são baseadas em dados estatísticos, comprovações e testes.

A partir dessas definições pode-se classificar o presente trabalho como uma pesquisa descritiva e quantitativa, devido ao fato que o mesmo terá como objetivo o estudo e correlação de variáveis, a partir de ensaios laboratoriais.

4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

4.1.1 Equipamentos

A NBR 9781 (2013) especifica que máquina para a aplicação das cargas devem ser de classe 1 ou superior para realização em laboratório e é aceitável classe 2 quando o ensaio for realizado na fábrica.

Conforme NBR 99781 (2013) explica, a máquina deverá ter capacidade compatível com a carga necessária para a realização do ensaio, sendo acionada por fonte estável de energia, propiciando uma aplicação de força de forma contínua e sem a ocorrência de choques elétricos. Além de citar que a peça deve ser colocada entre os pratos de compressão de forma que o seus centros coincidam, ou seja, quando aplicada a força, a mesma deverá passar pelo centro da peça. A peça deverá estar fixa, e os pratos por sua vez deverão realizar movimento na direção vertical e perpendicular ao prato fixo.

Deverá haver duas placas auxiliares para a execução do ensaio conforme NBR 9781 (2013), as quais devem ser placas circulares de aço com dureza superficial superior a 60 RC, com diâmetro de 85mm com tolerância de 0,5mm e espessura mínima de 20mm. A sua instalação deve ser de forma que os pratos (um superior, e outro inferior) fiquem alinhados e o afastamento máximo em relação a uma superfície plana de 0,01mm.

Para este trabalho será utilizada a prensa disponível no laboratório da universidade, a prensa hidráulica de acionamento elétrico de leitura, modelo PC 200, da marca EMIC. Esta prensa tem capacidade para ensaios de concretos de até 200 toneladas de resistência.

4.1.2 Amostragem

Quanto à amostragem a NBR 9781 (2013) especifica que as peças devem ser escolhidas aleatoriamente, constituído de cimento Portland, agregados, água, todos atendendo a normas específicas (podendo haver adições de aditivos e pigmentos).

Quanto ao número de peças a NBR 9781 (2013) determina que sejam utilizadas três ou seis peças de acordo com o ensaio a ser realizado, como mostrado na Figura 6.

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6 ^a
Avaliação dimensional	6 ^a
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3 ^b

^a As peças amostradas podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão.
^b Ensaio facultativo.

Figura 6 - Número de peças necessárias de acordo com cada ensaio.

FONTE: NBR 9781, 2013.

Como o presente trabalho irá determinar a resistência à compressão, serão necessárias seis peças por ensaio, devidamente identificadas, e como serão realizados ensaios em três datas diferentes para cada lote, será necessário um total de 18 peças por lote.

4.1.3 Preparação das peças

Para determinar as dimensões a NBR 9781 (2013) explica que dependerá do tipo da peça, ou seja, cada tipo de peça terá uma forma diferente para medi-la conforme o tipo da peça de concreto para pavimentação.

Conforme a NBR 9781 (2013), as peças a serem ensaiadas devem ser estar saturadas em água a (23°C com tolerância de 5 °C) por no mínimo 24 horas antes do ensaio. No momento do ensaio as peças deverão estar dispostas de forma que o seu centro e o centro das placas auxiliares coincidam, além de que a face que deverá entrar em contato com as placas deve ter largura mínima de 97 mm, do contrário este ensaio não poderá ser feito desta forma. Caso a peça tenha a menor

superfície de 140 mm, a mesma deverá ser cortada com serra de disco de forma que se obtenha pelo menos uma superfície inferior a 140 mm.

Para este trabalho as peças serão saturadas, com exceção para os ensaios realizados no terceiro dia após a realização, devido ao fato de que as peças só estarão disponíveis do segundo dia em diante.

4.1.4 Aplicação das cargas

A forma de aplicação da carga será feita conforme NBR 9781 (2013) que determina uma velocidade de 550 kPa/s (com tolerância de 200 kPa/s) e deverá ocorrer até a ruptura completa da peça.

4.1.5 Cálculo da Resistência à compressão

De acordo com NBR 9781 (2013) a valor da resistência a compressão das peças será em megapascals (Mpa), sendo determinada pela divisão entre a carga de ruptura (expressa em newtons, N) pela área de carregamento (expressa em milímetros quadrados, mm²), ou seja, a área que ficou em contato com as placas auxiliares da máquina, multiplicando ainda o resultado pelo fator p . O valor de p será 0,95, 1,00, 1,05 em função da espessura nominal da peça, 60, 80 e 100 mm respectivamente.

Para o controle de aceitação de lotes de peças de concreto para pavimentação a NBR 9781 (2013) admite valores da resistência a compressão calculada pela *Fórmula 1*, e a apresentação dos resultados devem constar todos os dados necessários para o cálculo da resistência a compressão. Além da idade, tipo, dimensões, identificação do lote, índice de forma, área de carregamento, cargas de rupturas, resistências individuais de cada peça.

$$f_{pk,est} = f_p - (t * s) \quad \text{Fórmula 1.}$$

Onde, s é dada pela *Fórmula 2*.

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

Sendo as variáveis:

- f_p é a resistência média das peças (expressa em megapascal, Mpa);

- f_{pi} é a resistência individual das peças (expressa em megapascal, Mpa);
- $f_{pk,est}$ é a resistência característica estimada à compressão (expressa em megapascal, Mpa);
- n é o numero de peças da amostra;
- s é o desvio padrão da amostra (expressa em megapascal, Mpa);
- t é o coeficiente de Student, que depende do tamanho da amostra e é dada pela tabela a.2 (Figura 7) na NBR 9781.

**Tabela A.2 — Coeficiente de *Student*
(nível de confiança de 80 %)**

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

Figura 7- Coeficiente de Student.

FONTE: NBR 9781, 2013.

4.2 ENSAIO ESCLEROMÉTRICO

De acordo com Bauer (2008) este método também pode ser chamado de *medição da dureza superficial*, já que o ensaio se baseia em analisar o choque entre dois corpos, sendo que um deles está fixo e outro em movimento. Além de determinar a uniformidade da dureza da superfície a NBR 7584 (1995) define o ensaio como um meio de determinar a qualidade da peça de concreto.

Inicialmente este método era empírico e baseava-se em aplicar uma força com um martelo no concreto. Sua dureza era determinada pelo som produzido e pela altura que o martelo subia após o choque.(BAUER, 2008)

Conforme Bauer (2008), Ernest Schimdt desenvolveu quatro tipos de aparelhos (*Modelo N, Modelo L, Modelo M e Modelo P*) que substituem o martelo convencional, chamados de *esclerômetro*, e será utilizado o Esclerômetro Mecânico Ectha 1000. A NBR 7584 (1995) faz a classificação dos esclerômetros pela quantidade de energia de percussão, porém o equipamento utilizado terá uma energia de percussão de 2,207 N.m.. Os estudos mais profundos quanto à aplicação deste método para a determinação da dureza do concreto ocorreu pelo Laboratório Federal de Materiais de Zurique, na Suíça.

O método é definido por Bauer (2008) como sendo um método para descobrir qual é a energia remanescente em relação à energia inicial do elemento móvel. Bauer (2008) explica que é preciso supor que toda a energia que incide no elemento fixo se transforme em energia de deformação, além da energia cinética após o choque permaneça somente no elemento móvel.

No final deste ensaio será necessário calcular o *índice esclerométrico*, que de acordo com a NBR 7584 (1995) é definido como sendo um dado fornecido pelo esclerômetro correspondendo ao quanto o aparelho recua ao impactar com a superfície.

Bauer (2008) descreve-o em alguns passos, inicialmente a peça de concreto escolhida deve ser preparada, polindo-a (caso seja necessário) com uma pedra de carborundo ou polimento semelhante, limpar a seco a superfície para que não reste nenhum resíduo. Após isto, será preciso delimitar na superfície escolhida, a área que ocorreram os impactos, que devem estar compreendidos entre no mínimo 90 cm² e

no máximo 400 cm² conforme NBR 7584 (1995) especifica. A determinação da NBR 7584 (1995) é que se faça um ensaio em peças pequenas e no mínimo dois em peças maiores, e de preferencia em lados opostos, não especificando valores de ensaios fixos, que deverão ser escolhidos conforme a heterogeneidade e tamanho das peças.

A NBR aconselha ainda a realizar de 9 a 16 impactos em cada área a ser estudada, conforme Figura 8 e 9 respectivamente, além de impedir o impacto em agregados, bolhas ou armaduras.

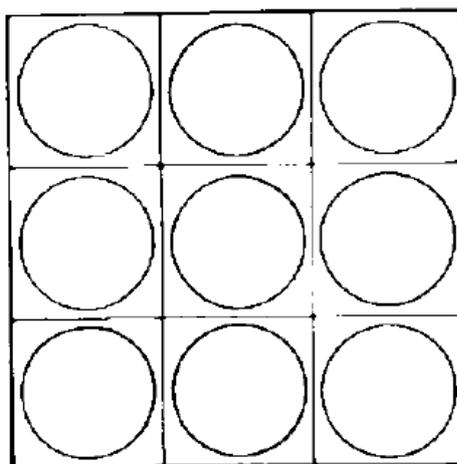


Figura 8 - Esquema para realização do ensaio esclerométrico com 9 impactos.

FONTE: NBR 7584 (1995).

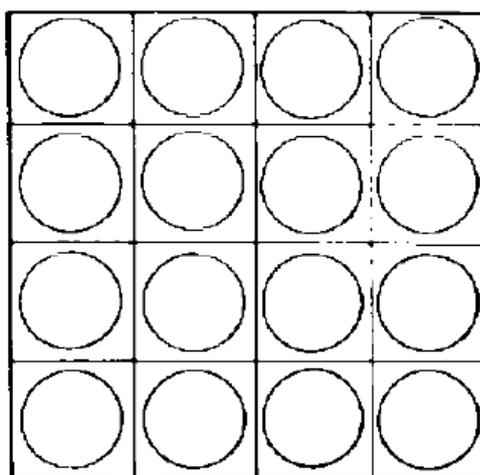


Figura 9 - Esquema para realização do ensaio esclerométrico com 16 impactos.

FONTE: NBR 7584 (1995).

Com relação à altura das peças a serem ensaiadas a NBR 7584 (1995) cita que não haverá problemas em alturas superiores a 100mm, porém podem ocorrer fenômenos indesejados como ressonância, vibração e dissipação de energia, quando a peça não é suficientemente rígida (menores de 100mm). Se a peça for menor que 100mm a norma regulamenta que os ensaios ocorram com uma superfície auxiliar na face oposta a face que ocorrerá o ensaio. A NBR recomenda que o esclerômetro deve ser aplicado na maior inércia, mas como no nosso caso esse lado seria menor do 90 mm, o que impossibilitaria a realização do ensaio, utilizou-se a face com dimensões adequadas, ou seja, conforme Figura 10.



Figura 10 - Exemplo de aplicação do esclerômetro.

FONTE: autoria própria.

A NBR 7584(1995) explica que o esclerômetro deve ser aplicado ortogonalmente a superfície da peça, preferencialmente a peça deve estar na posição vertical, conseqüentemente o equipamento deverá estar na posição horizontal.

A NBR 7584 (1995) recomenda que quando a finalidade do ensaio é correlacioná-lo com a resistência a compressão, deve ter a superfície lisa, além de constar que a superfície deve estar seca, para que o equipamento não deslize sob a água. Para atender esse requisito optamos por colocar em cura apenas as peças a serem ensaiadas no 7º e 28º dia, para que haja tempo de retirá-las e secá-las.

Conforme NBR 7584 (1995) os resultados devem ser apresentados da forma de média aritmética dos números de golpes, desprezando os valores que diferirem de 10% desta média e recalculá-la. Caso o número de pontos remanescentes seja menor que cinco, o ensaio deve ser desprezado e refeito.

A NBR 7584 (1995) lembra que este ensaio não fornece o valor da resistência a compressão, mas pode auxiliar por meio de correções, a determinação aproximada da mesma.

O esclerometro que será utilizado é o *ECTHA 1000*, da marca *DRC* (*Diagnostic Research Compay*), importado da Itália. Tal esclerômetro é mecânico, de fácil manuseio, leve e compacto (Figura 11), e ainda possui leitor simples (Figura 12).



Figura 11 - Esclerômetro.

FONTE: manual da ECTHA 1000, DRC.



Figura 12 - Leitura do esclerômetro.

FONTE: autoria própria.

Será necessário também à utilização da prensa usada para o ensaio de compressão, a qual neste caso será utilizada para fixar a peça de concreto de pavimentação, para que a mesma fique imóvel durante a realização do ensaio esclerométrico, serão usados também dois pedaços de papelão entre as faces da peça e a máquina, para garantir a uniformidade da face em contato com a prensa, essa imobilização pode ser vista na Figura 13.

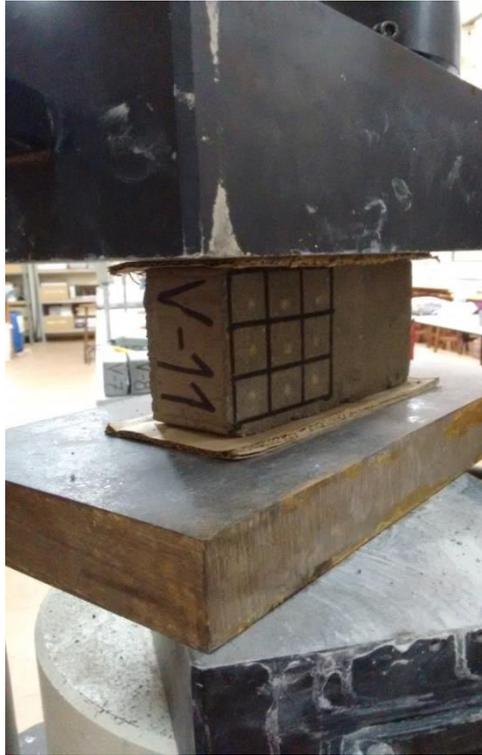


Figura 13 - Exemplo de fixação da peça para o ensaio esclerométrico.

FONTE: autoria própria.

Para a verificação da homogeneidade das peças, decidiu-se que serão verificadas as duas faces das mesmas. Sendo que a face 1 (Figura 14) será aquela que fica dentro da forma durante o processo de fabricação, portanto fica com uma saliência. Já a face 2 (Figura 15) é aquela que permanece para fora da forma, por isso é uniforme. Esse parâmetro foi escolhido para que haja maior uniformidade nos resultados.



Figura 14 - Exemplo da face 1.

FONTE: Site Lajes Bom Jesus



Figura 15 - Exemplo da face 2.

FONTE: Blog TECPAR

De acordo com a NBR 7584 (1995) a distância mínima entre os centros de dois pontos de impacto deve ser de 30 mm, para facilitar que esta distância seja seguida durante o ensaio, um gabarito será desenhado em cada face das peças e pode ser visto na Figura 16.



Figura 16 - Exemplo de gabarito utilizado para aplicação do esclerômetro.

FONTE: autoria própria.

4.2.1 Fatores que podem influenciar no índice esclerométrico

De acordo com a NBR 7584 (1995) existem alguns fatores que podem influenciar o resultado deste ensaio, tais como:

- *Carbonatação:* Segundo Helene e Nunes (1998) a carbonatação ocorre quando o gás carbônico penetra nos poros do concreto, ao se infiltrar o mesmo reage com os compostos hidratados do concreto, mudando assim a microestrutura, o pH e a composição do concreto;
- *Umidade Superficial:* De acordo com a NBR 7584 (1995) quando a superfície estiver úmida, e não necessariamente molhada, pode interferir no resultado da resistência. Portanto, pode interferir no índice esclerométrico, sendo que esta influencia depende ainda do tipo do concreto e de seu nível de permeabilidade;
- *Rigidez da peça:* A NBR 7584 (1995) sugere que o ensaio esclerométrico seja realizado em peças de concreto com dimensões superiores a 100 mm na direção do impacto. Superfícies desta forma seriam suficientemente rígidas e evitariam a influencia de ressonância, vibração e dissipação de energia durante o ensaio;
- *Tipo de agregado:* De acordo com a NBR 7584 (1995) o emprego de diferentes tipos de agregados pode resultar em concreto com a mesma qualidade, porém um índice esclerométrico variado. Tal variação pode ser acentuada pela utilização de agregados leves e pesados (NBR 7584, 1995). Portanto a utilização de diferentes tipos de agregados graúdos e miúdos pode interferir no valor do índice esclerométrico e não necessariamente na qualidade do produto final;
- *Posição do esclerometro:* Conforme a NBR 7584 (1995) especifica, a aplicação do esclerometro deve ser feita de forma uniforme, ou seja, com a mesma pressão, e posição. Portanto a alteração do colaborador que opera o equipamento poderá alterar o resultado do índice esclerométrico;
- *Superfície da peça:* Conforme a NBR 7584 (1995) explica, este o principal fator que afeta o resultado final. Por isto, é muito importante

que todas as peças a serem ensaiadas sejam preparadas e fabricadas de forma igual, para que haja um padrão na superfície;

- *Idade*: A idade interfere diretamente na dureza superficial do concreto, ou seja, o valor do índice esclerométrico obtido em diferentes idades será diferente, por diversos fatores, a NBR 7584 (1995) cita a carbonatação e diferença de cura como as principais;
- *Aferição do esclerometro*: A aferição do equipamento deve ser feito conforme a NBR 7584 (1995) sendo realizado sempre antes da utilização ou a cada 300 impactos em uma mesma inspeção, podendo interferir no resultado do ensaio quando não realizado. A aferição deverá ser feita por no mínimo 10 impactos em bigorna especial de aço pesando 16 kg e em superfície plana e estável (NBR 7584, 1995). O equipamento deverá ser calibrado conforme NBR 7584 (1995) quando a variação entre os 10 impactos for maior de 3, ou quando o índice esclerométrico for menor que 75.

4.3 ALTERAÇÕES FEITAS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DA SEGUNDA EMPRESA

Como os dados obtidos com a primeira empresa não foram conforme o esperado foi decidido alterar algumas metodologias e procurar uma segunda empresa para tentar obter resultados diferentes.

Além da alteração da empresa para realizar mais alguns ensaios esclerométricos e ensaios destrutivos, ficou decidido fabricar no laboratório um anteparo para um posterior comparativo dos resultados. Tal comparativo será feito entre os valores do anteparo fabricado e os valores do ensaio feito na prensa.

Mais uma alteração feita para a realização dos ensaios na segunda empresa foi a ausência da saturação das peças, pois para estes ensaios foram realizados o próximo da realidade nas empresas. Ou seja, as empresas dificilmente faria a saturação das peças ou a realização do ensaio esclerométrico em prensa elétrica, seria muito mais fácil realizar o ensaio destrutivo.

4.3.1 Execução de um método mais acessível para a fixação das peças para auxiliar nos ensaios esclerométricos

Para tornar o ensaio esclerométrico possível e confiável, é necessária a fixação da peça, para isso, todo o processo foi realizado com o auxílio da máquina da EMIC, a mesma que foi utilizada para o ensaio de resistência à compressão. Pensando em tornar tais testes mais fáceis, práticos e rápidos, uma alternativa encontrada foi a execução de uma caixa feita com concreto.

Inicialmente foi realizada a determinação das dimensões da caixa de madeira que serviu de forma para tal caixa sólida. Tais dimensões encontradas foram de 35 x 35 x 30 (cm) totalizando um volume necessário de concreto de 36750 cm³, ou 0,03675 m³, considerando que a massa específica do cimento é 2520 kg/m³, chegou-se a 92,6 kg.

Como não será necessária uma determinada resistência específica, pois o intuito da caixa é meramente auxiliar na execução do ensaio, a determinação do traço foi realizada de forma empírica. Utilizando-se no cálculo uma relação água-cimento de 0,5 e umidade de 9,0%, chegou-se ao traço 17 : 34 : 44 : 8,5, sendo que isso significa que será necessário 17 kg de cimento, 34 kg de brita, 44 kg de areia e 8,5 litros de água.

Para a realização do ensaio esclerométrico será necessário que a caixa sólida tenha um espaço fixo determinado, o qual apresente um tamanho suficiente para encaixar as peças de concreto para pavimentação. Pensando desta forma foi feita uma peça de madeira com dimensão de 10,5 x 22 x 1 (cm) para formar o encaixe correto. Para que esta peça fosse desmoldada facilmente após a cura do concreto, a mesma foi envolvida em um plástico para que não tivesse nenhum contato com o concreto em estado fresco. Para a fixação foi cortada mais uma madeira com dimensão de 40 x 10 x 1 (cm) para que facilitasse na desforma posteriormente.

Pensando ainda no transporte da peça dentro da fábrica, foram concretadas dois ferros formando duas alças. Tais alças foram fixadas por pedaços de madeira que facilitaram na hora da desforma.

Após a forma estar definida, foi aplicado na caixa de madeira, desmoldante e posteriormente o enchimento com concreto, conforme traço. Esta etapa concluída

pode ser observado nas figuras 17 e 18. Este processo é simples, prático e totalmente aplicável dentro de qualquer empresa fabricante de peças de concreto para pavimentação.



Figura 17 - Caixa para auxiliar na execução do ensaio esclerométrico (alça e plástico).

FONTE: autoria própria.



Figura 18 - Caixa para auxiliar na execução do ensaio esclerométrico.

FONTE: autoria própria.

Para a realização do ensaio esclerométrico neste anteparo foi utilizado um papelão com dimensões correspondente da peça para que não houvesse nenhum tipo de atrito ou choque mecânico entre a peça e o anteparo. Além do fato que o esclerometro neste caso estaria na posição vertical, diferente da posição da realização do ensaio na prensa, que foi na horizontal. Outra alteração feita para a realização do ensaio não destrutivo foi o gabarito, para a realização do mesmo foi deixado 3 cm da sua borda mais próxima, como pode ser visto na figura 19. Este procedimento foi feito da mesma forma na sua face oposta, ou seja, foi realizado na face 1 e face 2.



Figura 19 – Posicionamento da peça para a execução do ensaio esclerométrico na segunda empresa.

FONTE: autoria própria.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos experimentos realizados para o presente trabalho, descritos no capítulo 4, assim como as curvas de correlação entre os mesmos.

5.1 INDICES ESCLEROMÉTRICOS PRIMEIRA EMPRESA

Após a obtenção dos 18 índices esclerométricos para cada peça, decidiu-se que o melhor modo de verificar-se a uniformidade das peças seria com a utilização dos valores obtidos no centro da peça. Então foi descartado os seis resultados próximos as extremidades, portanto tais valores não aparecerão nas tabelas, e com isso serão utilizados para a consideração da média em cada peça um total de 12 valores.

Nas tabelas de 1 a 5 apresentam-se os valores dos índices esclerométricos obtidos no terceiro dia após a fabricação dos cinco lotes, também estarão expostos a média dos índices esclerométricos para cada peça, calculadas de acordo com o descrito no capítulo anterior, o mesmo cálculo será realizado para as médias do 7º e 28º dias. Os valores destacados em vermelho não foram utilizados para o cálculo da média final, de acordo com o descrito em capítulos anteriores.

Tabela 1: Índice esclerométrico do 1º lote ao 3º dia

LOTE 1 – 3º DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
1	23	25	24,88	4	19	22	21,60
	26	27			22	20	
	26	25			21	23	
	29	28			22	25	
	23	23			20	23	
	24	25			20	23	
2	22	20	23,20	5	24	25	25,88
	22	25			26	26	
	24	24			26	23	
	25	28			30	28	
	22	22			22	27	
	22	24			25	29	
3	26	21	27,00	6	28	21	25,60
	27	20			32	23	
	29	25			29	22	
	33	26			34	26	
	27	26			26	22	
	28	29			28	24	
MÉDIA FINAL							24,69

Fonte: Aatoria própria (2015)

Tabela 2: Índice esclerométrico do 2º lote ao 3º dia

LOTE 2 - 3 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
1	19	28	26,25	4	24	24	25,25
	26	27			26	27	
	26	27			29	26	
	33	31			31	29	
	25	25			27	24	
	32	26			29	24	
2	28	29	30,38	5	26	32	30,50
	30	31			28	30	
	32	30			27	31	
	36	31			33	34	
	32	25			31	26	
	34	24			35	32	
3	26	28	29,67	6	22	22	25,71
	30	29			27	25	
	28	30			24	25	
	32	32			34	30	
	27	25			25	28	
	34	31			26	32	
MÉDIA FINAL							27,96

Fonte: Aatoria própria (2015)

Tabela 3: Índice esclerométrico do 3º lote ao 3º dia

LOTE 3 - 3 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
1	23	25	24,70	4	24	23	25,50
	26	27			25	22	
	26	25			28	25	
	29	28			28	26	
	23	23			23	22	
	24	25			27	26	
2	23	24	25,55	5	23	26	25,45
	22	28			25	26	
	25	28			26	27	
	27	27			27	30	
	26	24			24	25	
	24	25			26	25	
3	24	23	24,89	6	25	25	25,73
	26	22			25	26	
	26	27			25	26	
	29	26			28	27	
	23	21			24	22	
	26	23			27	25	
MÉDIA FINAL							25,30

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 4: Índice esclerométrico do 4º lote ao 3º dia

LOTE 4 - 3 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
1	22	23	23,89	4	22	23	21,80
	24	25			26	24	
	25	25			25	24	
	29	29			30	27	
	23	20			21	21	
	25	23			24	22	
2	24	23	23,75	5	23	23	23,00
	26	25			28	27	
	24	25			26	27	
	30	29			29	31	
	22	21			21	24	
	24	23			24	27	
3	23	24	23,71	6	23	23	24,00
	26	27			26	26	
	26	25			25	25	
	28	28			29	29	
	23	23			23	23	
	24	24			25	25	
MÉDIA FINAL							23,36

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 5: Índice esclerométrico do 5º lote ao 3º dia

LOTE 5 - 3 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
1	22	23	23,86	4	22	22	28,14
	27	25			28	29	
	25	24			24	26	
	29	31			29	30	
	21	21			23	23	
	24	24			28	27	
2	25	23	25,00	5	25	25	27,44
	30	26			31	30	
	30	24			27	25	
	20	30			31	30	
	24	22			22	23	
	26	27			27	27	
3	25	21	26,38	6	23	25	26,14
	29	27			27	30	
	24	24			25	25	
	30	29			27	30	
	22	21			22	23	
	27	26			27	27	
MÉDIA FINAL							26,16

Fonte: Autoria própria (2015)

As tabelas de 6 a 10 contêm os índices esclerométricos obtidos nas idades de sete dias, assim como a média dos mesmos.

Tabela 6: Índice esclerométrico do 1º lote ao 7º dia

LOTE 1 - 7 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
7	27	24	25,50	10	23	27	24,86
	26	26			24	27	
	24	32			22	26	
	27	27			26	29	
	23	29			20	23	
	26	25			22	25	
8	27	25	28,25	11	25	23	25,10
	29	26			27	26	
	31	33			25	22	
	32	33			27	26	
	27	28			23	20	
	27	31			25	24	
9	25	22	24,11	12	21	24	24,00
	28	24			24	28	
	25	23			21	26	
	30	26			27	30	
	24	20			23	23	
	26	22			24	30	
MÉDIA FINAL							25,30

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 7: Índice esclerométrico do 2º lote ao 7º dia

LOTE 2 - 7 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
7	26	28	27,13	10	27	24	26,60
	28	31			30	26	
	29	34			26	26	
	29	34			29	28	
	25	25			26	23	
	33	27			29	25	
8	24	28	27,86	11	30	29	29,11
	31	30			33	29	
	26	33			28	28	
	28	34			38	32	
	24	28			27	25	
	26	29			30	29	
9	29	28	30,11	12	31	25	29,50
	28	29			28	29	
	30	37			34	26	
	35	36			34	31	
	29	34			28	27	
	33	31			32	30	
MÉDIA FINAL							28,38

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 8: Índice esclerométrico do 3º lote ao 7º dia

LOTE 3 - 7 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
7	29	27	27,55	10	30	25	29,17
	30	26			30	25	
	29	27			27	29	
	29	28			38	30	
	25	23			23	24	
	30	23			29	24	
8	29	25	29,11	11	27	27	27,44
	31	29			32	30	
	31	28			26	27	
	31	34			29	34	
	28	25			22	26	
	28	27			26	29	
9	26	27	28,44	12	26	25	27,00
	31	29			29	29	
	27	32			27	27	
	29	30			31	32	
	28	25			24	22	
	29	25			26	27	
MÉDIA FINAL							28,12

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 9: Índice esclerométrico do 4º lote ao 7º dia

LOTE 4 - 7 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
7	25	26	25,80	10	24	23	23,67
	27	29			28	27	
	26	22			25	31	
	29	35			32	30	
	22	25			19	22	
	29	23			24	24	
8	25	28	26,67	11	28	24	25,80
	30	28			29	25	
	27	26			29	29	
	34	31			35	30	
	23	21			30	26	
	29	26			29	26	
9	22	27	25,17	12	21	25	25,00
	27	26			26	25	
	26	28			26	23	
	31	29			31	26	
	24	23			28	23	
	30	24			26	29	
MÉDIA FINAL							25,35

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 10: Índice esclerométrico do 5º lote ao 7º dia

LOTE 5 - 7 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
7	25	24	24,67	10	24	22	25,75
	31	26			28	25	
	20	23			20	25	
	22	28			31	27	
	19	30			25	21	
	24	26			27	25	
8	25	20	26,17	11	22	24	26,25
	20	28			31	27	
	20	26			24	25	
	23	26			29	27	
	28	24			25	22	
	20	20			27	26	
9	25	24	24,80	12	25	22	24,89
	20	25			26	24	
	31	25			26	24	
	29	30			28	26	
	19	20			24	23	
	25	20			30	26	
MÉDIA FINAL							25,42

Fonte: Autoria própria (2015)

Nas tabelas de 11 a 15 podem-se ver os índices esclerométricos conseguidos na idade de 28 dias após sua fabricação, tal como suas médias.

Tabela 11: Índice esclerométrico do 1º lote ao 28º dia

LOTE 1 - 28 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
13	32	26	26,29	16	28	29	29,33
	31	28			26	36	
	26	31			35	37	
	36	33			33	37	
	28	25			30	27	
	26	25			31	32	
14	24	24	28,17	17	28	24	26,80
	26	28			35	31	
	29	23			28	27	
	29	28			33	31	
	29	23			23	25	
	32	24			26	32	
15	28	32	31,00	18	30	32	30,70
	38	34			28	35	
	29	34			28	33	
	33	38			34	33	
	26	28			26	29	
	29	32			28	31	
MÉDIA FINAL							28,71

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 12: Índice esclerométrico do 2º lote ao 28º dia

LOTE 2 - 28 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
15	26	27	29,50	18	27	27	28,33
	33	30			29	30	
	27	30			27	30	
	31	33			34	30	
	23	28			26	24	
	32	31			33	29	
16	26	29	29,88	19	30	31	32,56
	29	32			38	32	
	29	34			35	34	
	30	37			40	39	
	25	30			31	32	
	28	32			34	34	
17	26	29	27,70	20	26	28	29,56
	25	29			30	30	
	28	29			31	35	
	33	29			34	32	
	29	22			29	28	
	26	27			28	30	
MÉDIA FINAL							29,59

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 13: Índice esclerométrico do 3º lote ao 28º dia

LOTE 3 - 28 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
14	29	25	30,89	17	34	36	35,71
	32	33			36	38	
	31	32			25	36	
	36	33			37	45	
	29	26			23	26	
	30	29			31	33	
15	32	25	27,63	18	29	29	30,89
	30	30			31	33	
	24	25			29	33	
	33	30			32	38	
	27	22			26	30	
	25	29			32	36	
16	29	29	30,44	19	28	26	29,17
	30	32			28	29	
	29	32			38	35	
	32	34			33	39	
	26	29			30	24	
	32	33			30	30	
MÉDIA FINAL							30,79

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 14: Índice esclerométrico do 4º lote ao 28º dia

LOTE 4 - 28 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
13	21	25	24,80	16	26	27	25,83
	26	29			29	29	
	25	32			25	30	
	33	31			27	31	
	27	23			22	25	
	31	25			25	30	
14	30	25	25,60	17	26	27	28,11
	30	30			29	28	
	27	25			29	27	
	33	30			30	29	
	26	22			25	24	
	29	25			29	29	
15	24	24	26,60	18	28	25	26,75
	29	28			27	26	
	26	28			31	26	
	33	31			31	31	
	29	25			26	23	
	29	26			28	28	
MÉDIA FINAL							26,28

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 15: Índice esclerométrico do 5º lote ao 28º dia

LOTE 5 - 28 DIA							
PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA	PEÇA	FACE 1	FACE 2	MÉDIA
14	26	26	27,40	18	29	29	30,89
	29	28			32	31	
	27	27			31	34	
	36	29			31	36	
	26	24			26	29	
	30	26			30	36	
15	23	23	27,57	19	27	25	26,89
	27	30			31	28	
	23	29			28	26	
	28	31			28	28	
	25	23			21	22	
	27	27			27	25	
17	26	21	27,71	20	26	29	29,67
	29	30			30	31	
	34	27			34	31	
	33	27			25	32	
	26	24			27	27	
	29	24			29	31	
MÉDIA FINAL							28,36

Fonte: Autoria própria (2015)

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PEÇAS DA PRIMEIRA EMPRESA

De acordo com o método descrito no capítulo quatro, pode-se determinar o valor da resistência à compressão de cada peça, os resultados obtidos apresentam-se nas tabelas de 16 a 20.

Tabela 16: Resistência à Compressão do 1º lote

LOTE 1					
3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)
1	18,92	7	28,76	13	30,75
2	37,23	8	34,69	14	20,59
3	24,28	9	28,48	15	23,57
4	14,48	10	26,35	16	25,18
5	34,82	11	20,34	17	19,65
6	23,76	12	33,72	18	13,54
MÉDIA	25,58	MÉDIA	28,72	MÉDIA	22,21
DESVIO PADRÃO	10,54	DESVIO PADRÃO	6,21	DESVIO PADRÃO	6,90

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 17: Resistência à Compressão do 2º lote

LOTE 2					
3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)
1	31,81	7	35,63	15	38,91
2	31,54	8	28,09	16	31,59
3	34,99	9	26,18	17	17,11
4	25,66	10	36,03	18	27,96
5	34,79	11	35,44	19	41,89
6	19,02	12	15,94	20	35,32
MÉDIA	29,64	MÉDIA	29,55	MÉDIA	32,13
DESVIO PADRÃO	7,37	DESVIO PADRÃO	9,39	DESVIO PADRÃO	10,55

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 18: Resistência à Compressão do 3º lote

LOTE 3					
3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)
1	30,92	7	36,05	14	54,46
2	34,37	8	40,48	15	52,20
3	40,51	9	39,64	16	51,98
4	35,61	10	31,25	17	49,92
5	33,82	11	22,94	19	57,84
6	31,31	12	35,58	20	58,44
MÉDIA	34,42	MÉDIA	34,32	MÉDIA	54,14
DESVIO PADRÃO	3,80	DESVIO PADRÃO	7,70	DESVIO PADRÃO	8,13

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 19: Resistência à Compressão do 4º lote

LOTE 4					
3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)
1	26,99	7	18,33	13	31,34
2	22,40	8	21,26	14	28,66
3	29,63	9	21,38	15	28,28
4	19,05	10	28,91	16	31,22
5	16,04	11	25,10	17	32,99
6	17,75	12	20,68	18	34,35
MÉDIA	21,98	MÉDIA	22,61	MÉDIA	31,14
DESVIO PADRÃO	7,73	DESVIO PADRÃO	4,49	DESVIO PADRÃO	2,82

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 20: Resistência à Compressão do 5º lote

LOTE 5					
3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)
1	32,18	7	35,88	14	38,67
2	28,06	8	26,62	15	28,91
3	26,28	9	39,93	17	41,35
4	28,93	10	31,47	18	48,35
5	20,16	11	37,38	19	40,08
6	25,66	12	27,62	20	45,92
MÉDIA	26,88	MÉDIA	33,15	MÉDIA	40,55
DESVIO PADRÃO	4,78	DESVIO PADRÃO	6,45	DESVIO PADRÃO	7,01

Fonte: Autoria própria (2015)

5.3 GRÁFICOS ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO X RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA PRIMEIRA EMPRESA

Após a obtenção dos dados acima, foi possível determinar os gráficos relacionando a resistência média em cada lote com o índice esclerométrico médio de cada lote. As tentativas de relacionar tais dados podem ser observadas nas figuras 20, 21 e 22 representando os dados obtidos nas idades de 3, 7 e 28 dias respectivamente.

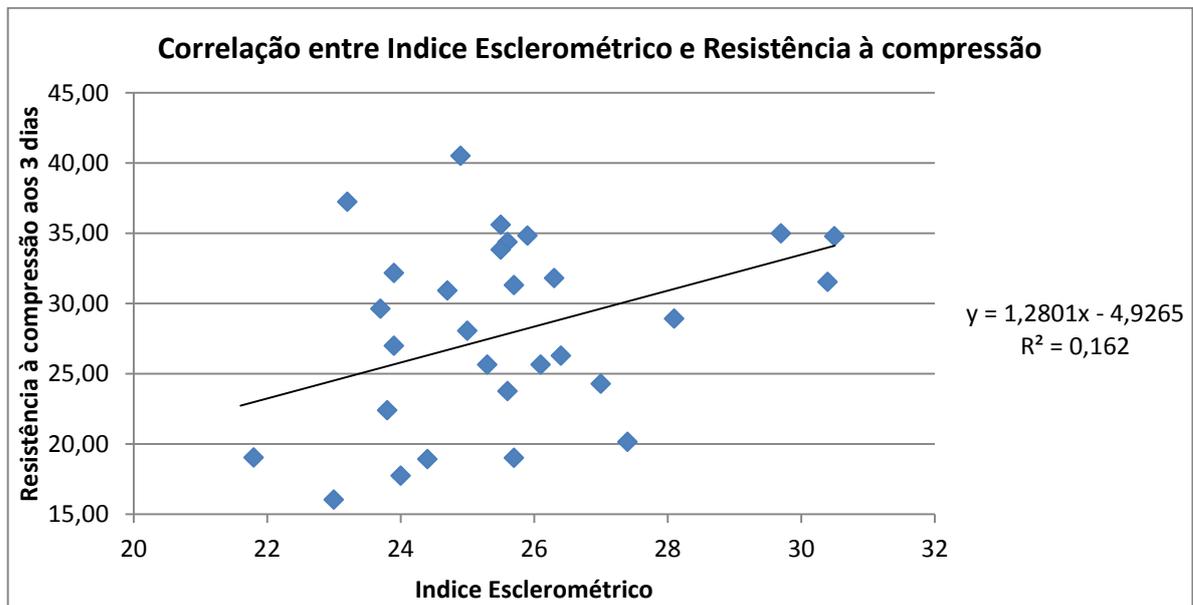


Figura 20- Correlação entre Índice Esclerométrico e Resistencia à compressão em 3 dias.

FONTE: autoria própria.

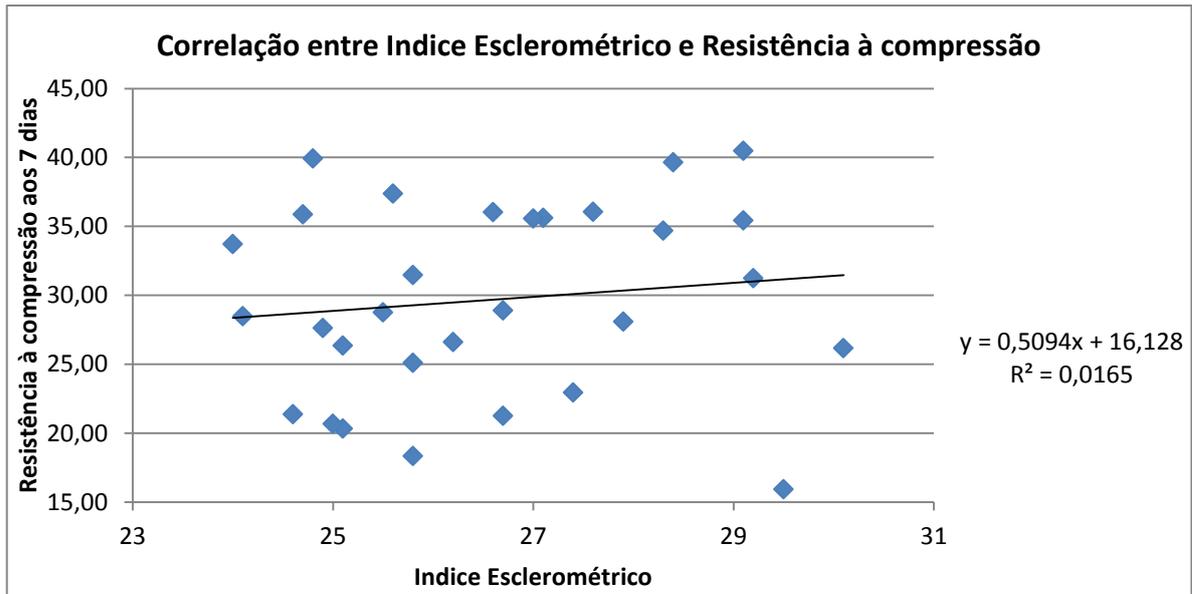


Figura 21- Correlação entre Índice Esclerométrico e Resistência á compressão em 7 dias.

FONTE: autoria própria.

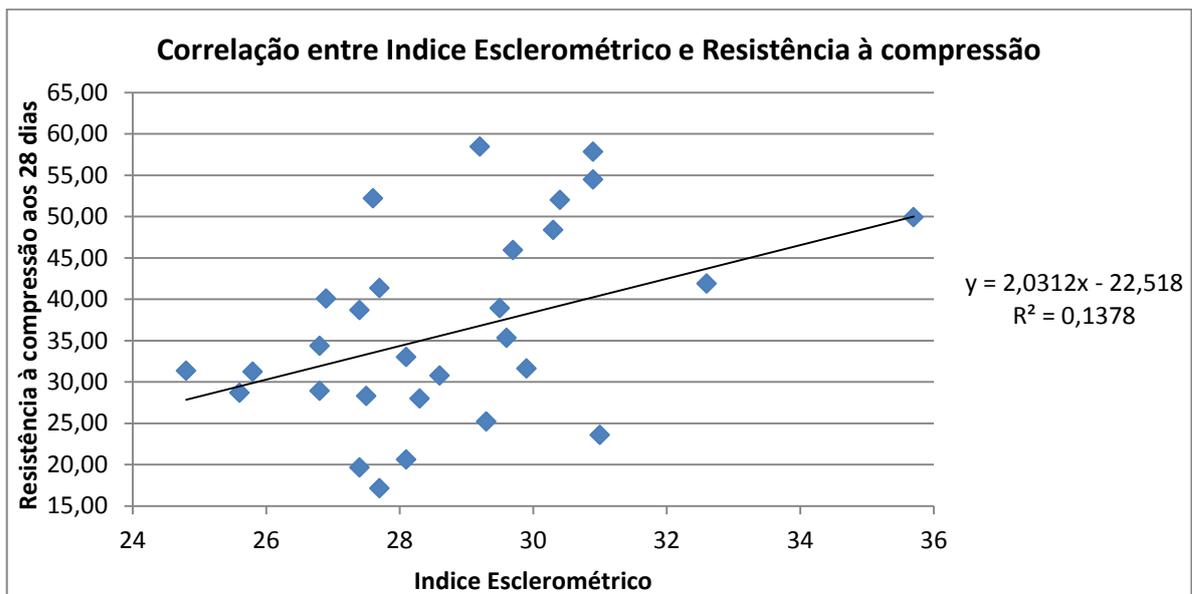


Figura 22 - Correlação entre Índice Esclerométrico e Resistencia à compressão em 28 dias.

FONTE: autoria própria.

5.4 CONTROLE DE ACEITAÇÃO DOS LOTES DA PRIMEIRA EMPRESA

Como visto no capítulo sobre metodologia é possível determinar se determinado lote será aceito ou não, lembrando que para isto é preciso que o valor da resistência

característica seja igual ou superior a 35 Mpa. Este controle pode ser visualizado na tabela 21.

Tabela 21 - controle de aceitação dos lotes.

LOTE / IDADE	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (Mpa)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)	SITUAÇÃO
LOTE 1 / 28 DIAS	19,1	25,1	Reprovado
LOTE 2 / 28 DIAS	27,1	36,3	Reprovado
LOTE 3 / 28 DIAS	57,9	61,1	Aprovado
LOTE 4 / 28 DIAS	33,9	35,2	Reprovado
LOTE 5 / 28 DIAS	40,1	48	Aprovado

Fonte: Autoria própria (2015)

5.5 CONCLUSÃO DOS RESULTADOS COM A PRIMEIRA EMPRESA

É importante relatar alguns materiais empregados pela empresa para uma possível comparação dos resultados com outras empresas. Inicialmente a primeira empresa utiliza o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), ou seja, era esperado que a resistência à compressão com poucas idades fossem altas. Segundo ponto importante é que não foi possível o acesso a fabricação das peças, então as peças podem ter sido pegadas de 18 diferentes tábuas, ou de apenas 2 tábuas, além de ter surgido a dúvida da veracidade da idade das peças.

Com relação ao ensaio esclerométrico não houve problemas significativos, pois é possível notar que a variação estava pequena, além de dentro do determinado pela norma, ou seja, nenhum dos lotes houve a necessidade de se abandonar os resultados obtidos e refazer o ensaio.

Quanto às resistências à compressão, os resultados encontrados demonstraram uma grande variabilidade, sendo que essa variabilidade ocorreu não somente entre os diferentes lotes, mas também entre as peças de um mesmo lote. Pequenas variações na resistência são esperadas, pois mesmo dentro de um lote pode haver tais variações devido a diversos fatores vindos do processo produtivo, porém os coeficientes de variação dentro de um mesmo lote foram muito altos.

Também é possível observar dentre os cinco lotes estudados apenas dois passariam no controle de aceitação, pois os outros três não atingiram a resistência

característica necessária aos 28 dias. Ou seja, apenas 20% dos lotes pesquisados poderiam estar no mercado, o que nos leva a crer que houve problemas na primeira empresa pesquisada.

Tais problemas podem ter sido devido ao processo produtivo, como por exemplo, na utilização da tábua que irá auxiliar na fabricação das peças. A tábua deve estar em perfeitas condições e completamente nivelada, caso a tábua estava desnivelada, a prensa irá compactar mais algumas peças e outras menos, e no caso da tábua já estar desgastada, pode haver diferenças na vibração do concreto das peças, o que pode também interferir diretamente na resistência à compressão das peças.

Outros fatores podem ter influenciado neste resultado, como a mistura de materiais diferentes, como pode ter ocorrido à presença de peças com diferentes datas de fabricação, já que não tivemos acesso a fabricação, sendo as peças entregues a terceiros.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que nesse caso não houve a possibilidade de correlacionar os índices esclerométricos e a resistência à compressão encontrada nas peças de concreto para pavimentação. Como visto nos gráficos a nuvem de dados ficou muito dispersa e não seguiu uma ordem coerente com o esperado, o qual deveria trazer um aumento gradual com o passar do tempo após a fabricação das peças.

Por isto, foi decidido procurar uma segunda empresa para tentar novamente obter resultados satisfatórios. Além de executar uma opção mais plausível de ser aplicada comercialmente, como a execução de uma caixa de concreto para auxiliar no ensaio esclerométrico.

5.6 ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS DA SEGUNDA EMPRESA

Como exposto no capítulo anterior, o gabarito já estava distante 3 cm das bordas externas, portanto todos os 18 dados foram considerados. Nas tabelas 22 e 23 estarão exibidos os comparativos feitos entre o ensaio feito no anteparo e na prensa na idade de 3 dias, e nas tabelas 24 e 25 estarão exibidos os comparativos na idade de 7 dias.

Tabela 22 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 3º dia

LOTE 6 - 3 DIAS				
PEÇA	FACE 1 (ANTEPARO)	FACE 2 (ANTEPARO)	FACE 1 (PRENSA)	FACE 2 (PRENSA)
1	16	14	25	22
	20	15	25	27
	16	18	28	29
	18	19	32	32
	21	21	33	29
	23	22	35	29
	13	17	21	22
	17	18	33	28
	17	15	29	28
		MÉDIA ENTEPARO	17,71	MÉDIA PRENSA
2	12	12	23	26
	14	18	25	28
	17	17	28	29
	17	18	29	29
	19	18	27	33
	20	24	27	31
	14	13	27	27
	17	14	25	29
	20	15	26	24
		MÉDIA ENTEPARO	17,63	MÉDIA PRENSA
3	12	15	26	27
	16	20	31	27
	20	16	26	26
	15	20	30	28
	22	22	26	31
	24	21	29	30
	15	15	23	28
	21	16	29	23
	15	16	24	25
		MÉDIA ENTEPARO	17,71	MÉDIA PRENSA
4	11	14	22	21
	20	15	27	22
	20	16	25	27
	13	20	25	27
	23	25	29	41
	21	24	29	37
	12	14	23	27
	17	13	24	27
	18	19	29	31
		MÉDIA ENTEPARO	19,67	MÉDIA PRENSA

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 23 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 3º dia

LOTE 6 - 3 DIAS				
PEÇA	FACE 1 (ANTEPARO)	FACE 2 (ANTEPARO)	FACE 1 (PRENSA)	FACE 2 (PRENSA)
5	15	11	22	29
	17	16	29	31
	18	18	26	30
	18	19	29	29
	21	25	32	29
	25	18	32	30
	11	18	22	25
	18	19	31	31
	19	21	29	31
	MÉDIA ENTEPARO	18,25	MÉDIA PRENSA	29,60
6	13	13	25	24
	18	15	21	30
	17	14	28	25
	17	19	26	31
	25	19	27	32
	21	23	27	34
	12	12	24	24
	17	15	27	32
	19	17	30	30
	MÉDIA ENTEPARO	17,88	MÉDIA PRENSA	25,70
MÉDIA FINAL ANTEPARO	18,14	MÉDIA FINAL PRENSA	27,24	

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 24 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 7º dia

LOTE 6 - 7 DIAS				
PEÇA	FACE 1 (ANTEPARO)	FACE 2 (ANTEPARO)	FACE 1 (PRENSA)	FACE 2 (PRENSA)
7	14	13	23	27
	16	19	21	30
	16	14	24	27
	18	21	27	26
	21	26	38	28
	24	24	29	30
	16	17	28	25
	18	21	28	29
	23	21	33	30
	MÉDIA ENTEPARO	19,50	MÉDIA PRENSA	28,25
8	15	13	27	24
	19	18	28	24
	19	20	30	29
	19	17	26	24
	23	22	36	29
	22	24	33	32
	15	13	29	28
	17	13	29	34
	21	19	33	29
	MÉDIA ENTEPARO	19,29	MÉDIA PRENSA	28,40

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 25 - Índice esclerómetro do 6º lote ao 7º dia

LOTE 6 - 7 DIAS				
PEÇA	FACE 1 (ANTEPARO)	FACE 2 (ANTEPARO)	FACE 1 (PRENSA)	FACE 2 (PRENSA)
9	11	16	27	25
	21	20	29	31
	18	21	28	29
	19	22	27	27
	25	25	34	31
	25	24	36	33
	13	17	22	25
	15	19	33	33
	19	23	33	29
		MÉDIA ENTEPARO	19,57	MÉDIA PRENSA
10	15	17	29	26
	15	19	30	27
	19	21	34	34
	22	20	28	32
	18	25	28	40
	23	25	31	34
	15	15	29	29
	19	18	30	29
	18	19	28	32
		MÉDIA ENTEPARO	19,64	MÉDIA PRENSA
11	15	13	26	26
	19	17	28	30
	19	19	27	29
	18	23	26	29
	23	21	30	33
	26	23	32	34
	17	12	25	21
	19	17	29	30
	19	20	31	29
		MÉDIA ENTEPARO	18,64	MÉDIA PRENSA
12	14	14	28	26
	18	13	29	28
	17	17	31	27
	23	20	30	30
	21	26	32	33
	23	25	31	32
	14	17	30	29
	19	19	28	33
	19	21	31	32
		MÉDIA ENTEPARO	19,57	MÉDIA PRENSA
	MÉDIA FINAL ANTEPARO	19,37	MÉDIA FINAL PRENSA	28,93

Fonte: Autoria própria (2015)

5.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PEÇAS DA SEGUNDA EMPRESA E CONTROLE DE ACEITAÇÃO

O método para determinar a resistência à compressão das peças da segunda empresa foi a mesma utilizada para a determinação da resistência na primeira empresa. Desta forma, os resultados obtidos com o lote 6, estão descritos na tabela 26. Já com relação ao controle de aceitação deste lote, não foi possível realizado, visto que este controle é feito com os valores de resistência à compressão com a idade de 28 dias e não foi possível fazer este ensaio.

Tabela 26 - Resistência à Compressão do 6º lote

LOTE 6			
3 DIAS		7 DIAS	
PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)	PEÇA	RESISTENCIA (Mpa)
1	34,49	7	47,63
2	34,15	8	46,99
3	36,16	9	48,42
4	26,92	10	45,94
5	40,93	11	46,79
6	40,46	12	50,27
MÉDIA	35,52	MÉDIA	47,67
DESVIO PADRÃO	5,12	DESVIO PADRÃO	1,52

Fonte: Aatoria própria (2015)

5.8 GRÁFICOS ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO X RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA SEGUNDA EMPRESA

O procedimento realizado com os dados da primeira empresa foram realizados também com a segunda empresa para obter o gráfico final de correlação entre índice esclerométrico e resistência a compressão. A única diferença é que não foi possível realizar os ensaios na idade de 28 dias pelo cronograma de entrega do presente trabalho, portanto a imagem 23 trás os resultados obtidos no anteparo com idade de 3 dias e a imagem 24 trás os resultados na prensa na idade de 3 dias. Já as imagens 25 e 26 trazem os resultados obtidos no anteparo e na prensa, respectivamente, na idade de 7 dias.

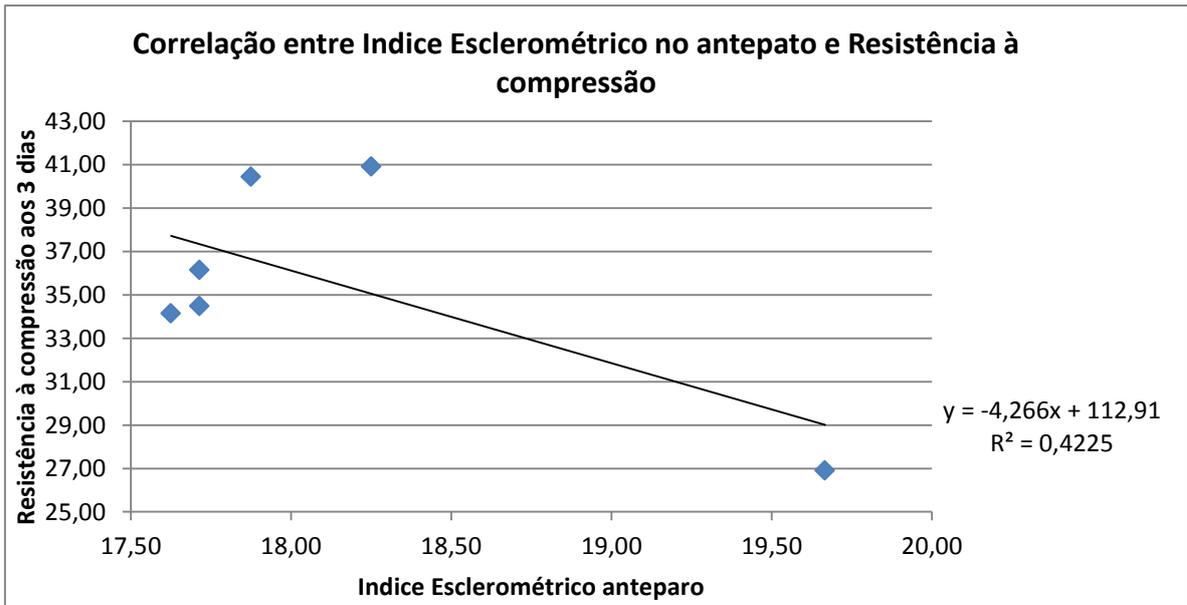


Figura 23 - Correlação entre Índice Esclerométrico no antepato e Resistência à compressão em 3 dias.

FONTE: autoria própria.

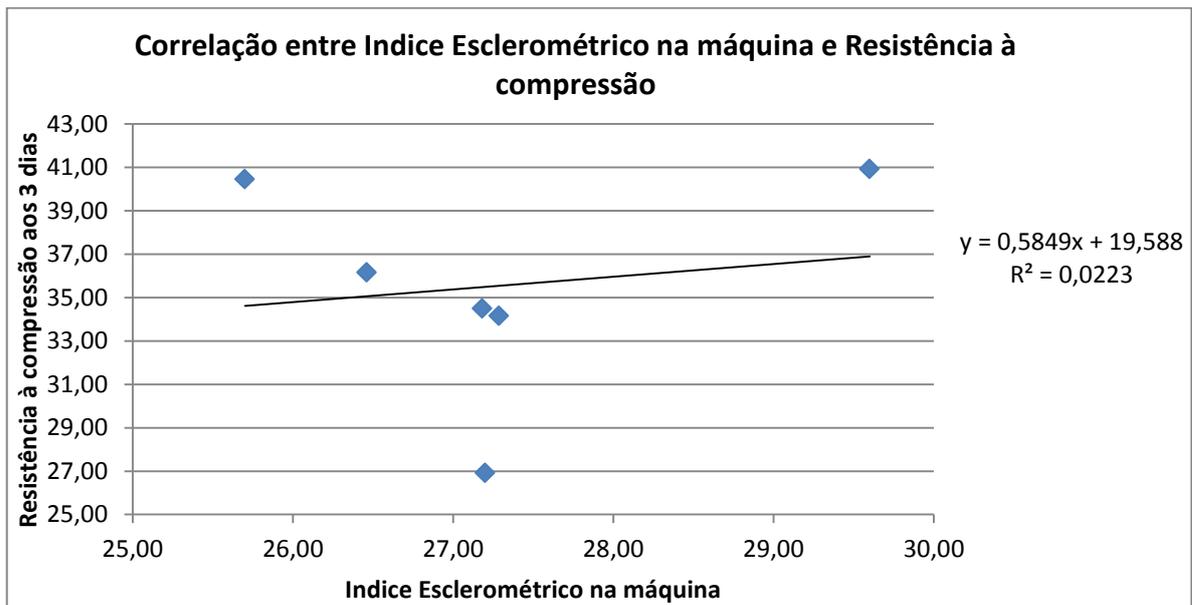


Figura 24 - Correlação entre Índice Esclerométrico no antepato e Resistência à compressão em 3 dias.

FONTE: autoria própria.

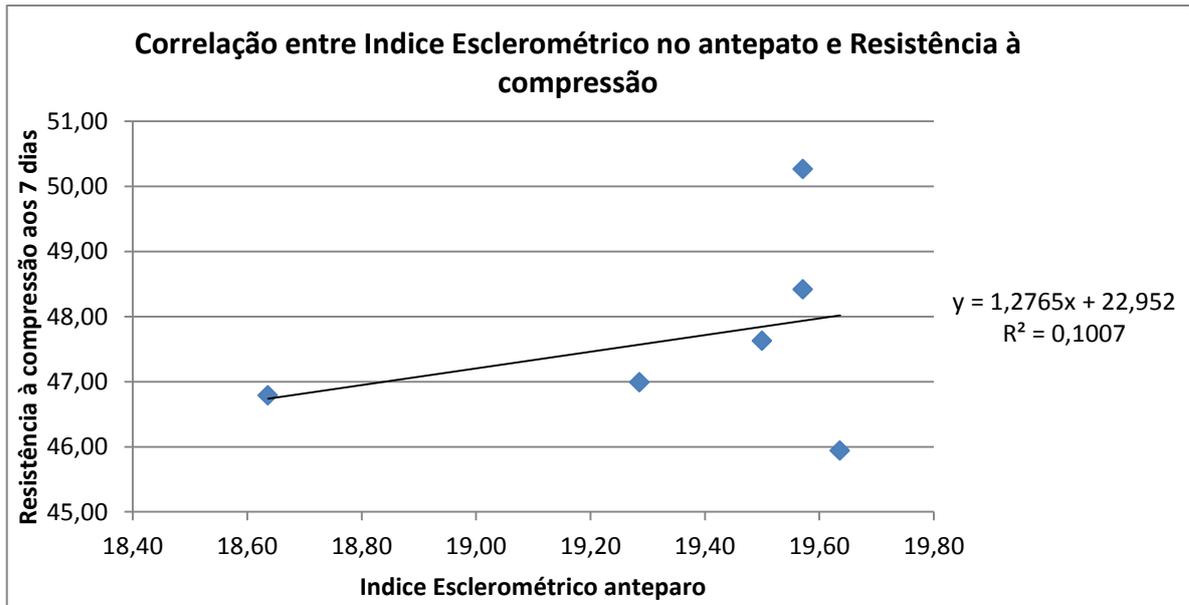


Figura 25- Correlação entre Índice Esclerométrico no anteparo e Resistencia à compressão em 7 dias.

FONTE: autoria própria.

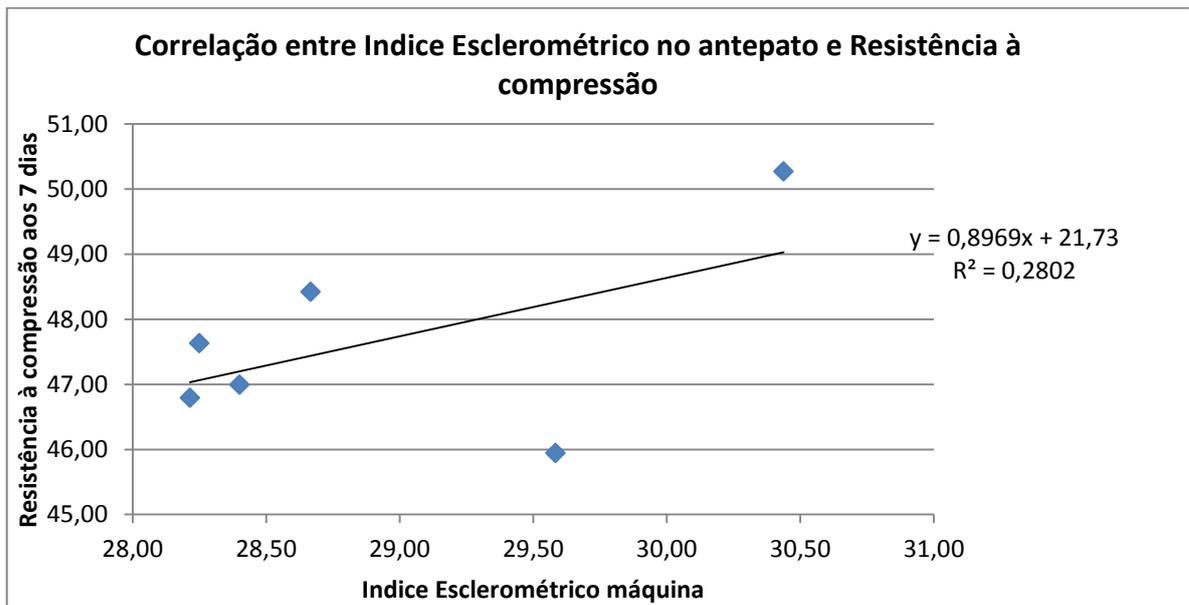


Figura 26- Correlação entre Índice Esclerométrico na prensa e Resistencia à compressão em 7 dias.

FONTE: autoria própria.

5.9 CONCLUSÃO DOS RESULTADOS COM A SEGUNDA EMPRESA

Para ser possível comparar as duas empresas é necessário fazer algumas pontuações. A segunda empresa possui anos de experiência na fabricação de peças de concreto para pavimentação, e adquiriu algumas técnicas próprias para esta fabricação. Entre elas a variação do consumo de cimento conforme o estado físico das tábuas, além ainda de alterar o tipo de cimento utilizado, variando entre os cimentos: Portland Composto (CP II) e Portland de Auto Forno (CP III), visto que não é estritamente necessário que estas peças tenham uma resistência à compressão inicial.

Esclarecidos estes pontos, é possível analisar os resultados separadamente e um comparativo entre as técnicas utilizadas para a realização do ensaio esclerométrico.

Com os resultados obtidos com as peças da segunda empresa, foi possível observar que quando avaliados individualmente, os valores dos índices esclerométricos estiveram dentro de um mesmo padrão. Ou seja, não houve grandes variações, chegando a valores satisfatórios de acordo com a norma e com o aumento da idade, aumentou também os valores dos índices esclerométricos.

Porém quando comparamos os resultados dos índices esclerométrico ensaiado na prensa elétrica, e no anteparo, houve variação significativa. O que nos leva a crer que em um dos dois casos, ou em ambos, houve equívocos.

Quanto ao ensaio executado da prensa, podemos dizer que o esclerômetro foi aplicado na horizontal, o equipamento estava calibrado, as peças estavam secas, porém, era necessário aplicar uma carga inicial para a fixação das peças, o que pode ter interferido nos resultados. Já quanto ao ensaio executado no anteparo, o esclerômetro estava na vertical, as peças estavam secas, o equipamento estava devidamente calibrado, porém o esperado neste caso é que houvesse um ligeiro aumento no índice esclerométrico, já que a força da gravidade poderia auxiliar neste procedimento adotado.

Todavia, este resultado não foi observado nos dados finais destas peças, mas o que foi observado foi que o ensaio realizado na prensa forneceu um resultado de índice esclerométrico maior do que ensaio realizado no anteparo. Este fato pode ter

ocorrido por diversos fatores, entre eles que o anteparo executado não seria útil para a realização do ensaio em questão, ou que a carga inicialmente dada na peça de concreto não deveria ter ocorrido, além de erros como leitura ou defeitos no equipamento ou até mesmo erros de execução do ensaio.

Com relação às resistências à compressão, os resultados obtidos com a segunda empresa mantiveram grandes variações com 3 dias, porém com 7 dias tal variação reduziu drasticamente, que é possível verificar pelo desvio padrão. Como foi ensaiado apenas um lote com a segunda empresa, não é possível compará-la com outros valores, ou seja, o único comparativo feito foi com relação à idade das peças, e o crescimento de seus parâmetros de índice esclerométrico e resistência à compressão.

A partir dos dados obtidos com a segunda empresa foi tentado novamente encontrar um padrão de crescimento entre as peças. Porém, como houve grande variação na idade de 3 dias, e embora os resultados obtidos com 7 dias fossem satisfatórios, não foi possível obter uma correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão das peças, já que não houve tempo suficiente para a realização dos ensaios com idades superiores a 7 dias.

As variações encontradas nas peças desta empresa podem ter surgido por diversos motivos, com maior relevância podemos citar erros de execução nos ensaios, e algumas variações devido ao processo de fabricação das peças. Estas variações no processo de fabricação das peças estão ligadas ao material empregado para execução, tempo de vibração, e posição das peças na tábua de fabricação. Quanto ao material empregado, podemos citar as condições da tábua para a fabricação das peças, tipo de agregado e tipo de cimento, já que estas variáveis estão ligadas à resistência das peças.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à demanda de mercado e novas tecnologias disponíveis, as peças pré-moldadas estão cada vez mais presentes na construção civil, as quais aceleram a execução da obra. O controle de qualidade destas peças, como em qualquer outro processo construtivo, deve ser rigoroso, pois a qualidade final da edificação, bem como sua durabilidade, dependerá deste controle. Com relação as peças pré-moldadas e mais especificamente as peças de concreto para pavimentação, este controle de qualidade está ligado ao ensaio destrutivo que verifica a resistência a compressão, que leva 28 dias para acontecer, o que pode levar ao mercado, peças que não estaria de acordo com as normas.

A fim de tornar o retorno dos resultados deste ensaio mais rápido, o intuito deste trabalho foi verificar a possibilidade de introduzir o ensaio não destrutivo, a esclerometria, como uma ferramenta de controle de qualidade. Este ensaio não forneceu o valor da resistência a compressão das peças, mas um índice que pode ser comparado com este valor.

Com o decorrer dos ensaios e posteriormente com os resultados obtidos com a primeira empresa, ficou determinado refazer os ensaios com uma segunda empresa. Com o principal objetivo de determinar se as variações de resistências à compressão estariam ligadas a tal empresa, ou se seria uma variação comum entre as duas empresas, visto que a segunda empresa está no mercado há mais tempo e possui maior campo de atuação.

Como exposto no capítulo anterior nas conclusões individuais das empresas é preciso realizar uma conclusão geral e comparar os resultados obtidos.

Para iniciar, é importante lembrar que foram obtidos resultados com duas empresas distintas, onde cada uma pode empregar materiais distintos, e utilizam cimentos diferentes para a confecção das peças. Portanto, para os resultados finais já era de se esperar valores diferentes entre si, tanto na resistência a compressão, quanto no ensaio esclerométrico. Por estes motivos, não seria interessante comparar as duas empresas entre si, mas sim verificar se houve pontos semelhantes ou não.

Realizando um comparativo inicialmente para o ensaio não destrutivo, a esclerometria, foi possível notar que as duas empresas não tiveram muita variação entre os resultados, sendo que todos foram significativos e conforme a norma específica. Porém, com relação à utilização do anteparo para auxiliar na execução do ensaio, foi possível verificar que tais valores ficaram muito abaixo quando comparados aos valores do ensaio realizado na prensa. Ou seja, um dos métodos utilizados, ou ambos, podem ter ocorrido problemas, entretanto não é possível dizer qual dos ensaios estaria errado ou certo, apenas que ambos não podem ser comparados. Com relação aos valores dos índices esclerométricos, pode-se dizer que nas peças de ambas as empresas foi possível obter um resultado consistente, já que houve um crescimento de tal índice com o aumento da idade.

Quando observamos os resultados do ensaio de resistência à compressão, é possível verificar que na primeira empresa houveram grandes variações no resultado, ou seja, não houve um padrão entre tais valores, e quanto aos resultados da segunda empresa é possível dizer que tais variações também apareceram, mas em menor significância, porém ainda não foi possível obter um padrão. Entretanto é preciso observar que os resultados obtidos com a segunda empresa foram muito mais perto de um padrão do que os resultados com a primeira empresa.

Embora existam alguns trabalhos que nos mostram que existe uma correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão, no presente trabalho não foi possível obtê-las. Pelo principal fato de que as peças estudadas foram adquiridas na indústria local, onde geralmente não ocorre padrão entre as resistências nas peças devido ao processo produtivo das mesmas.

Durante o procedimento dos ensaios foi possível dialogar com os responsáveis da segunda empresa, onde foi verificado o processo produtivo das peças. O processo produtivo hoje executado pela empresa ocorre com tábuas de madeiras, que com o tempo desgastam devido à própria fabricação. Nesta empresa, existem diversos estudos feitos na prática aonde chegaram à conclusão que se deve aumentar o consumo de cimento conforme a tábua for sendo utilizada para tentar obter a mesma peça. Além do estado da tábua, existem outros fatores que podem influenciar na resistência final das peças, como tempo de vibração e posição na tábua durante o processo produtivo. O ideal para a fabricação das peças de

concreto para pavimentação seria a utilização de tábuas metálicas, porém, de acordo com os fabricantes, estas tábuas seriam inviáveis economicamente. Outra conclusão que o responsável chegou, foi que esta variação de resistência está ligada diretamente com o processo produtivo, onde ele está tentando alterar algumas etapas para poder chegar a resultados mais padrões.

Portanto, é possível dizer que existe uma correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação, porém devido ao processo produtivo executado hoje em dia pelo mercado, não foi plausível obtê-la no presente trabalho.

7. REFERÊNCIAS

_____ **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007) NBR 5739.**
Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

_____ **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009) NBR 7211.**
Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro.

_____ **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012) NBR 7584.**
Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro.

_____ **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006) NBR 9062.**
Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro.

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

AMBROZEWICZ, Paulo H. L. **Qualidade na prática: Conceitos e Ferramentas.** 1. ed. Curitiba: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional do Paraná, 2003.

ANDRADE FILHO, Joaquim; COSTA E SILVA, Angelo; ANDRADE, Tibério. Pré-fabricados de concreto: cenário atual e necessidades especiais de produção e controle. **Concreto e Construções**, São Paulo, nº 59, p. 65 – 69, Jul./Ago./Set. 2010.

AZEREDO, Hélio A. de. **O edifício e sua cobertura.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1997.

BAUER, Luiz A.F. **Materiais de construção, vol 1.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BARÇANTE, Luiz C. **Qualidade Total, uma visão brasileira – o impacto estratégico na universidade e na empresa.** Disponível em: <professorbarcante.wordpress.com> Acesso em 30 de setembro de 2015.

Blog TECPAR – Pavimentação ecológica e saneamento. Disponível em: <<https://tecparpavimentos.wordpress.com/2012/10/>> Acesso em 25 de agosto de 2015.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** São Carlos: EESC-USP, 2000.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRESSLER, Lori Alice. **Introdução à pesquisa: projetos e relatórios.** 2 ed. rev. Atual. São Paulo: Loyola, 2004.

HELENE, Paulo R.L. e NUNES, Fabíola L. **Influência da dosagem na carbonatação dos concretos.** Boletim Técnico – Série BT/PCC. São Paulo: 1998.

HELENE, Paulo R.L. e TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** 1ª ed. São Paulo: Pini, 1993.

Marly Monteiro de Carvalho [et al] . **Gestão de qualidade: teoria e casos.** 6 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

Portal do MSPC - Informações técnicas. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/matr/resmat0110.shtml>> Acesso em 02 de maio de 2015.

TEBOUL, James. **Gerenciando a dinâmica da qualidade,** 1991. In: PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

Site Lajes Bom Jesus. Disponível em: < [ttp://www.lajesbomjesus.com.br/paver.php](http://www.lajesbomjesus.com.br/paver.php)> Acesso em 25 de agosto de 2015.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 10. ed. São Paulo: Pini, 2009.