

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PPGEC - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS
UTILIZADOS NA GRANDE FLORIANÓPOLIS ATRAVÉS DE ENSAIOS
NÃO DESTRUTIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Florianópolis
2006

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS
UTILIZADOS NA GRANDE FLORIANÓPOLIS ATRAVÉS DE ENSAIOS
NÃO DESTRUTIVOS**

EVERLEI CÂMARA

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

Área de Concentração: Estruturas

Orientador: Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, PhD

**Florianópolis
2006**

**Ao meu Pai
pela sua dedicação e
compreensão**

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Roberto C. A. Pinto, pela orientação dispensada, pela compreensão e permanente disponibilidade no transcorrer desta dissertação.

Aos meus pais Romeu Rodrigues Câmara e Wilma de Oliveira Rodrigues, pela dedicação, carinho, confiança e auxílio durante toda minha formação.

Aos meus irmãos Rita, Everaldo, Roseli e Juliano, e a todos de suas famílias, pelo carinho, dedicação e confiança.

À minha querida noiva Lidiane Sobierai, pela sua compreensão, pelo seu carinho, pela sua confiança, pela sua dedicação e especialmente por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus amigos Ivanildo, Paulo, Volmir e família, Marlene, Cristina, Jeverson, Maria e Rosa, pela alegria, dedicação e amizade.

Especialmente a Wescley Antônio Paloschi, por estar sempre presente durante minha caminhada e estadia em Florianópolis, por ser um amigo confidente e me apoiar em todos os momentos, e ao João Nicolotti, pela companhia, amizade e companheirismo.

Ao meu amigo André e amiga e professora Giovanna, pela dedicação, pela convivência e por toda a ajuda prestada.

Aos Engenheiros Ricardo Lane, Ricardo, Lyncon, Fernando e Sandro, da Zortea Construções Ltda, pela amizade e companheirismo, especialmente aos engenheiros José Luis, Rogério e Édison (em memória), pela oportunidade de trabalho e pela compreensão.

Aos bolsistas de iniciação científica Diego Sonaglio, Daniel Baggio, Thiago Truá e Felipe Dutra, pela incansável colaboração durante a fase experimental e pela amizade formada.

A todos os colegas de mestrado, professores e membros do GPEND (Grupo de Pesquisa de Ensaio Não Destrutivos).

À concreteira Polimix, especialmente à engenheira Leila, pela doação dos agregados, cimento e aditivo utilizados na confecção dos concretos.

Aos engenheiros Rodrigo, da Koerich Construtora, e José Luis, da Construtora Beco Castelo, pela colaboração e ajuda prestada na segunda etapa experimental deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVO.....	5
1.3 - CONTEÚDO DO TRABALHO	5
2 - ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	7
2.1 – GENERALIDADES	7
2.2 – RESISTÊNCIA DO CONCRETO E CURVAS DE CORRELAÇÃO	8
2.3 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	10
3 - MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO	12
3.1 - ULTRA-SOM	12
3.1.1 – O Método.....	13
3.1.2 – Vantagens e Limitações	14
3.1.3 – Aplicações	15
3.1.4 – Fatores que Influenciam os Resultados.....	16
3.1.5 – Normalização.....	18
3.1.6 – Curvas de Correlações.....	19
3.2 - ESCLEROMETRIA.....	20
3.2.1 – O Método.....	21
3.2.2 – Vantagens e Limitações	22
3.2.3 – Aplicações	23
3.2.4 – Fatores que Influenciam os Resultados.....	23
3.2.5 – Normalização.....	25
3.2.6 – Curvas de Correlação.....	26
3.3 - MÉTODO DE PENETRAÇÃO DE PINOS	28

3.3.1 – O Método	28
3.3.2 – Vantagens e Limitações	29
3.3.3 – Aplicações	29
3.3.4 – Fatores que Influenciam os Resultados	30
3.3.5 – Curvas de Correlação.....	31
3.4 - MÉTODO DA MATURIDADE.....	32
3.4.1 – O Método.....	33
3.4.2 – Funções de Maturidade.....	34
3.4.3 – Energia de Ativação	36
3.4.4 – Correlação entre Maturidade e Resistência à Compressão	38
3.4.5 – Vantagens e Limitações	39
3.4.6 – Aplicações	40
3.4.7 – Fatores que Influenciam os Resultados.....	40
3.5 – MÉTODOS COMBINADOS.....	40
3.5.1 – Método Combinado de Ultra-som e Esclerometria	41
4 - PROGRAMA EXPERIMENTAL	42
4.1 - INTRODUÇÃO	42
4.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	42
4.2.1 – Cimento	42
4.2.2 – Agregado Graúdo	43
4.2.3 – Agregado Miúdo	45
4.2.4 – Aditivo	46
4.2.5 – Água	46
4.2.6 – Composição dos Concretos Ensaçados	46
4.3 - 1ª ETAPA: LABORATÓRIO	47
4.3.1 – Resistência à Compressão	49
4.3.2 – Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas	49
4.3.3 – Índice Esclerométrico	51
4.3.4 – Penetração de Pinos	52
4.3.5 – Maturidade.....	54
4.3.5.1 – Monitoramento da Temperatura.....	54
4.3.5.2 – Energia de Ativação (Ea)	54

4.4 - 2ª ETAPA: EM OBRA.....	56
4.4.1 – Resistência à Compressão	58
4.4.2 – Ultra-som	58
4.4.3 – Índice Esclerométrico	59
4.4.4 – Monitoramento da Temperatura.....	59
5 - RESULTADOS OBTIDOS.....	61
5.1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	62
5.2 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS	64
5.3 – ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO	67
5.4 – PENETRAÇÃO DE PINOS (Lp).....	70
5.4 – MÉTODO DA MATURIDADE	71
5.4.1 – Resistência à Compressão das Argamassas	71
5.4.2 – Monitoramento de Temperatura.....	73
6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	77
6.1 – 1ª ETAPA.....	77
6.1.1 – Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-sônicas	77
6.1.1.1 – Correlações entre f_c e V	77
6.1.1.2 – Influência do Tipo de Cura	80
6.1.1.3 – Influência do Tipo de Transmissão da Onda Ultra-sônica	84
6.1.1.4 – Influência do Tipo de Corpo-de-prova.....	88
6.1.2 – Esclerometria.....	91
6.1.2.1 – Correlações entre f_c e IE	91
6.1.2.2 – Influência do Tipo de Cura	93
6.1.3 – Penetração de Pinos (Lp).....	97
6.1.3.1 – Correlações entre f_c e L_p	97
6.1.3.2 – Influência do Tipo de Cura	99
6.1.4 – Maturidade.....	100
6.1.4.1 – Energia de Ativação (E_a)	100
6.1.4.2 – Idade Equivalente (t_e)	102
6.1.5 – Métodos Combinados.....	106
6.1.5.1 – Método Combinado de Ultra-som e Esclerometria	106
6.2 – 2ª ETAPA.....	110

6.2.1 – Resistência à Compressão	110
6.2.2 – Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-sônicas	112
6.2.2.1 – Intervalos de Confiança – Ultra-som	114
6.2.3 – Índice Esclerométrico	116
6.2.3.1 – Intervalos de Confiança – Esclerometria	118
6.2.4 – Método Combinado de Esclerometria e Ultra-som	120
6.2.5 – Método da Maturidade	122
6.2.6 – Comparação entre Métodos.....	124
6.2.7 – Considerações Finais	125
7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	127
7.1 – CONCLUSÕES	127
7.1.1 – 1ª Etapa	127
7.1.2 – 2ª Etapa	129
7.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	130
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
APÊNDICE A	
Resultados dos Ensaios da Primeira Etapa – Laboratorial.....	138
APÊNDICE B	
Resultados dos Ensaios da Segunda Etapa – Obra.....	173
APÊNDICE	
Intervalos de Confiança – Ultra-som e Esclerometria.....	190

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 – Montagem de pilar pré-moldado (0,3x0,6x24m) em idades iniciais</i>	2
<i>Figura 3.1 – Equipamento de Ultra-som (PUNDIT)</i>	12
<i>Figura 3.2- Esquema de funcionamento do aparelho de ultra-som (ACI 228.1R, 2003)</i> 13	
<i>Figura 3.3 - Tipos de transmissões das ondas ultra-sônica na superfície do concreto..</i> 14	
<i>Figura 3.4 – Esquema de ensaio de esclerometria (ACI 228.1 R, 2003)</i>	21
<i>Figura 3.5 – Utilização do esclerômetro em estrutura de concreto</i>	22
<i>Figura 3.6 – Detalhe da pistola Walsywa, pinos e cartuchos</i>	28
<i>Figura 4.1 - Ensaio de resistência à compressão</i>	49
<i>Figura 4.2 – Aplicação do ultra-som em corpos-de-prova cilíndricos no modo direto...</i> 50	
<i>Figura 4.3 - Aplicação do ultra-som nos prismas no modo indireto.....</i> 50	
<i>Figura 4.4 - Esquema de transmissão indireta do ultra-som na face superior dos prismas</i>	51
<i>Figura 4.5 – Esclerometria na face lateral do corpo-de-prova cilíndrico</i>	52
<i>Figura 4.6 – Esclerometria na face superior de prismas e laje.....</i> 52	
<i>Figura 4.7 – Execução do ensaio de penetração de pinos.....</i> 53	
<i>Figura 4.8 – Equipamento utilizado no ensaio de penetração de pinos</i>	53
<i>Figura 4.9 – Moldagem dos corpos-de-prova cúbicos para ensaios de E_a</i>	55
<i>Figura 4.10 – Ensaio à compressão dos corpos-de-prova cúbicos para E_a</i>	55
<i>Figura 4.11 – Corpos-de-prova cilíndricos e pilar durante a concretagem.....</i> 57	
<i>Figura 4.12 – Utilização do ultra-som em estruturas de concreto in loco.....</i> 58	
<i>Figura 4.13 – Aplicação do esclerômetro em estruturas de concreto in loco.....</i> 59	
<i>Figura 5.1 - Variação de f_c com o tempo para concreto 20MPa.....</i> 63	
<i>Figura 5.2 - Variação de f_c com o tempo para concreto 25MPa.....</i> 63	
<i>Figura 5.3 - Variação de f_c com o tempo para concretos 30MPa</i> 63	
<i>Figura 5.4 - Variação de V com o tempo para concreto 20MPa.....</i> 66	
<i>Figura 5.5 - Variação de V com o tempo para concreto 25MPa.....</i> 66	
<i>Figura 5.6 - Variação de V com o tempo para concreto 30MPa.....</i> 66	
<i>Figura 5.7 - Variação de V com o tempo para concreto in loco.....</i> 67	
<i>Figura 5.8 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto 20MPa</i> 68	
<i>Figura 5.9 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto 25MPa</i> 69	

<i>Figura 5.10 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto 30MPa ..</i>	<i>69</i>
<i>Figura 5.11 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto in loco ...</i>	<i>69</i>
<i>Figura 5.12 - Variação da profundidade de penetração com o tempo para concreto 20MPa</i>	<i>70</i>
<i>Figura 5.13 – Idade e f_c para os CP's cúbicos da mistura 20MPa.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 5.14 - Idade e f_c para os CP's cúbicos da mistura 25MPa</i>	<i>72</i>
<i>Figura 5.15 - Idade e f_c para os CP's cúbicos da mistura 30MPa</i>	<i>72</i>
<i>Figura 5.16 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 20MPa cura ao ar</i>	<i>73</i>
<i>Figura 5.17 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 20MPa cura úmida</i>	<i>73</i>
<i>Figura 5.18 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 25MPa cura ao ar</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5.19 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 25MPa cura úmida</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5.20 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 30MPa cura ao ar</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5.21 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 30MPa cura úmida</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5.22 – Variação da temperatura com o tempo no concreto da Obra 01</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5.23 - Variação da temperatura com o tempo no concreto da Obra 02</i>	<i>76</i>
<i>Figura 6.1 – Exemplo de comparação entre curvas das equações testadas para ultrassom.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 6.2 – Correlações entre f_c e V para concreto 20MPa transmissão direta da onda em cilindros</i>	<i>80</i>
<i>Figura 6.3 - Correlações entre f_c e V para concreto 20MPa transmissão direta da onda em prismas.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 6.4 - Correlações entre f_c e V para concreto 20MPa transmissão indireta da onda</i>	<i>81</i>
<i>Figura 6.5 – Correlações entre f_c e V para concreto 25MPa transmissão direta da onda em cilindros</i>	<i>81</i>
<i>Figura 6.6 – Correlações entre f_c e V para concreto 25MPa transmissão direta da onda em prismas.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 6.7 – Correlações entre f_c e V para concreto 25MPa transmissão indireta da onda.....</i>	<i>82</i>

<i>Figura 6.8 – Correlações entre f_c e V para concreto 30MPa transmissão direta da onda em cilindros</i>	<i>82</i>
<i>Figura 6.9 – Correlações entre f_c e V para concreto 30MPa transmissão direta da onda em prismas</i>	<i>82</i>
<i>Figura 6.10 – Correlações entre f_c e V para concreto 30MPa transmissão indireta da onda.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 6.11 – Transmissão direta em CP's cilíndricos de 20, 25 e 30MPa.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 6.12 – Transmissão direta em CP's prismáticos de 20, 25 e 30MPa.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 6.13 – Transmissão indireta em CP's prismáticos de 20, 25 e 30MPa.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 6.14 – Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 20MPa cura ao ar</i>	<i>85</i>
<i>Figura 6.15 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 20MPa cura úmida.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 6.16 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 25MPa cura ao ar</i>	<i>86</i>
<i>Figura 6.17 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 25MPa cura úmida</i>	<i>86</i>
<i>Figura 6.18 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 30MPa cura ao ar</i>	<i>86</i>
<i>Figura 6.19 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 30MPa cura úmida</i>	<i>87</i>
<i>Figura 6.20 – Influência do tipo de transmissão da onda nos concretos 20, 25 e 30MPa cura ao ar</i>	<i>87</i>
<i>Figura 6.21 - Influência do tipo de transmissão da onda nos concretos 20, 25 e 30MPa cura úmida.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 6.22 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 20MPa cura ao ar</i>	<i>89</i>
<i>Figura 6.23 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 20MPa cura úmida.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 6.24 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 25MPa cura ao ar</i>	<i>89</i>

<i>Figura 6.25 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 25MPa cura úmida.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6.26 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 30MPa cura ao ar</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6.27 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 30MPa cura úmida.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6.28 - Exemplo de comparação entre curvas das equações testadas para esclerometria.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 6.29 - Correlações entre f_c e IE para concreto 20MPa com esclerômetro na horizontal.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 6.30 - Correlações entre f_c e IE para concreto 20MPa com esclerômetro na vertical</i>	<i>94</i>
<i>Figura 6.31 - Correlações entre f_c e IE para concreto 25MPa com esclerômetro na horizontal.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 6.32 - Correlações entre f_c e IE para concreto 25MPa com esclerômetro na vertical</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6.33 - Correlações entre f_c e IE para concreto 30MPa com esclerômetro na horizontal.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6.34 - Correlações entre f_c e IE para concreto 30MPa com esclerômetro na vertical</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6.35 – Correlações entre f_c e IE com esclerômetro na horizontal</i>	<i>96</i>
<i>Figura 6.36 – Correlações entre f_c e IE com esclerômetro na vertical</i>	<i>97</i>
<i>Figura 6.37 - Comparação entre curvas das equações testadas para penetração de pinos.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 6.38 - Comparação entre curvas das equações testadas para penetração de pinos.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 6.39 - Correlações entre f_c e L_p para concreto 20MPa</i>	<i>99</i>
<i>Figura 6.40 – Gráfico de Arrhenius para mistura 20MPa</i>	<i>101</i>
<i>Figura 6.41 - Gráfico de Arrhenius para mistura 25MPa</i>	<i>101</i>
<i>Figura 6.42 - Gráfico de Arrhenius para mistura 30MPa</i>	<i>101</i>
<i>Figura 6.43 – Idade equivalente em função do tempo para concreto 20MPa.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 6.44 – Idade equivalente em função do tempo para concreto 25MPa.....</i>	<i>103</i>

<i>Figura 6.45 – Idade equivalente em função do tempo para concreto 30MPa das etapas 1 e 2.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 6.46 – Correlação entre t_e e f_c para mistura de 20MPa cura ao ar e úmida.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 6.47 - Correlação entre t_e e f_c para mistura de 25MPa cura ao ar e úmida.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 6.48 - Correlação entre t_e e f_c para mistura de 30MPa cura ao ar e úmida.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 6.49 – Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 20MPa cura ao ar através de IE e V.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 6.50 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 20MPa cura úmida através de IE e V.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 6.51 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 25MPa cura ao ar através de IE e V.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 6.52 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 25MPa cura úmida através de IE e V.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 6.53 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 30MPa cura ao ar através de IE e V.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 6.54 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 30MPa cura úmida através de IE e V.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 6.55 – Comparação de f_c da 1ª e 2ª etapa da mistura 30MPa cura ao ar.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 6.56 - Comparação de f_c da 1ª e 2ª etapa da mistura 30MPa cura úmida.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 6.57 – Obtenção de f_c por meio de V para os pilares da Obra 01.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 6.58 – Intervalos de Confiança - Ultra-som Obra 01</i>	<i>115</i>
<i>Figura 6.59 – Intervalos de Confiança - Ultra-som Obra 02</i>	<i>115</i>
<i>Figura 6.60 - Obtenção de f_c por meio de IE da Obra 01</i>	<i>117</i>
<i>Figura 6.61 – Intervalos de Confiança – Esclerometria Obra 01.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 6.62 – Intervalos de Confiança – Esclerometria Obra 02.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 6.63 - Obtenção de f_c por meio de IE e V (método combinado) da Obra 01.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 6.64 - Obtenção de f_c por meio da idade equivalente (horas a 20°C) na Obra 01</i>	<i>122</i>
<i>Figura 6.65 - Obtenção de f_c por meio da idade equivalente (horas a 20°C) na Obra 02</i>	<i>123</i>
<i>Figura 6.66 – Resultados de f_c estimados e obtidos para os CP da Obra 01</i>	<i>124</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores de Energia Aparente de Ativação	38
Tabela 4.1 – Análise física e química do cimento <i>CPIV-RS</i>	43
Tabela 4.2 – Caracterização do pedrisco (brita 0)	44
Tabela 4.3 – Caracterização da brita 1	44
Tabela 4.4 – Caracterização da areia fina	45
Tabela 4.5 – Caracterização da areia artificial	46
Tabela 4.6 – Composições por m ³ de concreto	47
Tabela 4.7 – Corpos-de-prova e processos de cura adotados	48
Tabela 5.1 – Nomenclatura adotada aos concretos deste programa experimental	61
Tabela 5.2 – Nomenclatura adotada para ensaios de ultra-som e esclerometria	62
Tabela 5.3 - Resultados de f_c para todos os concretos	62
Tabela 5.4 - Resultados de V para todos os concretos	65
Tabela 5.5 - Resultados de IE para todos os concretos	68
Tabela 5.6 - Resultados de L_p para os concretos 20MPa	70
Tabela 5.7 – Idade e resistência à compressão dos CP's cúbicos para energia de ativação	71
Tabela 6.1 – Coeficientes r^2 das regressões testadas para correlações entre f_c e V	78
Tabela 6.2 – Equações propostas para correlacionar f_c com V	79
Tabela 6.3 - Coeficientes r^2 das regressões testadas para correlações entre f_c e IE	92
Tabela 6.4 - Equações propostas para correlacionar f_c com IE	93
Tabela 6.5 - Coeficientes r^2 das regressões testadas para correlações entre f_c e L_p	98
Tabela 6.6 - Equações propostas para correlacionar f_c com L_p	99
Tabela 6.7 – Parâmetros de regressão	100
Tabela 6.8 – Energia aparente de ativação (E_a)	102
Tabela 6.9 - Resultados de t_e para todos os concretos	103
Tabela 6.10 – Equações propostas para correlação entre $f_c \times V \times IE$	107
Tabela 6.11 – Resultados de f_c para a Obra 01 estimados através das equações que relacionam f_c e V	113
Tabela 6.12 - Resultados de f_c para a Obra 02 estimados através das equações que relacionam f_c e V	113

Tabela 6.13 - Resultados de f_c para a Obra 01 estimados através da equação que relaciona f_c e IE	117
Tabela 6.14 - Resultados de f_c para a Obra 02 estimados através da equação que relaciona f_c e IE	117
Tabela 6.15 - Resultados de f_c para a Obra 01 estimados através da equação que relaciona f_c , IE e V	121
Tabela 6.16 - Resultados de f_c estimados para os pilares através da curva de maturidade.....	123
Tabela 6.17 – Valores de f_c estimados para o Pilar 01 da Obra 01	125
Tabela 6.18 - Valores de f_c estimados para o Pilar 02 da Obra 01.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<i>a/c</i>	Relação água/cimento
<i>ACI</i>	American Concrete Institute
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>NBR</i>	Norma Brasileira
<i>RILEM</i>	Réunion Internationale des Laboratoires d'Éssais et des Recherches sur lés Matériaux et les Constructions
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>PUNDIT</i>	Portable Ultrasonic Non Destructive Indicating Tester
$D_{máx}$	Dimensão máxima do agregado
E_a	Energia aparente de ativação
f_c	Resistência à compressão do concreto
<i>IE</i>	Índice Esclerométrico
L_p	Comprimento de penetração de pinos
t_e	Idade equivalente na temperatura de referência
V	Velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas

RESUMO

É freqüente a necessidade de avaliar-se a resistência à compressão do concreto nas primeiras idades, importante para o planejamento de desforma, protensão e aumento de carga na estrutura, tornando-se comum a necessidade de sua avaliação *in loco*. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade do concreto já executado, estão cada vez mais sendo utilizados.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência à compressão de concretos utilizados na região da Grande Florianópolis, com o uso das técnicas não destrutivas de esclerometria, ultra-som, método da maturidade e penetração de pinos.

Curvas de correlação foram traçadas para misturas de concretos com resistência à compressão de 20MPa, 25MPa e 30MPa, utilizados por uma concreteira da região, com diferentes métodos de cura. São apresentadas curvas de correlação simples e correlação múltipla entre parâmetros obtidos em ensaios não destrutivos e resistência à compressão dos concretos.

Ensaio não destrutivos foram realizados também em obras que utilizavam as mesmas misturas de concreto fornecidas pela concreteira em questão, para aplicação das curvas de correlação elaboradas em laboratório. Através da aplicação das curvas de correlação em estruturas destas obras é possível estimar a resistência à compressão do concreto utilizado.

ABSTRACT

Nowadays, it has become necessary to estimate concrete compressive strength at early ages. Several construction activities such as form removal, application of prestressing forces can only be performed after the concrete has reached the required level of strength. Non-destructive methods used to evaluate the quality of concrete members are thus being used more often.

The objective of this work is to evaluate the compressive strength of concretes usually employed in the Great Florianópolis area using non destructive methods such as rebound hammer, ultrasound, the maturity method and Windsor probe.

Curves relating the non-destructive parameters with compressive strength were prepared for mixtures with compressive strength of 20MPa, 25MPa, and 30MPa. These mixtures are commercially available. Such curves were obtained by linear regression and multiple regressions.

Non-destructives tests were performed on site on columns cast with the concrete mixtures tested on the laboratory. The obtained correlation curves were applied with the compressive strength of the columns being estimated.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

O concreto é o material mais largamente utilizado na construção civil. Isso se deve ao seu baixo custo, por ser resistente a água, proporcionar facilidade na execução de elementos estruturais, com variedades de formas e tamanhos, além de seus ingredientes serem encontrados em quase toda parte do mundo (Metha e Monteiro, 1994).

Na sua aplicação, o concreto vem sofrendo com o descaso no controle de qualidade, na falta de manutenção, além de sofrer com o meio ambiente cada vez mais agressivo (RODRIGUES, 2003), tornando cada vez mais comum a necessidade de avaliação *in loco* do concreto como controle de qualidade.

O emprego do controle de qualidade na construção é de grande importância e o mercado está cada vez mais exigente. Empresas participantes do *PBQP-H* (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat) devem possuir requisitos mínimos de qualidade com relação aos serviços, como também aos insumos para construção civil.

Em projetos de estruturas de concreto armado, especifica-se a resistência característica do concreto que deve ser atingida aos 28 dias. Esta resistência é obtida estatisticamente a partir de ensaios de corpos-de-prova moldados durante a concretagem da peça estrutural e curados de acordo com a norma. Estes são representativos do concreto na estrutura, podendo sofrer variações devido às diferentes condições de lançamento, compactação e cura. Em idades diferentes de 28 dias, na ocasião da desforma de peças estruturais, no transporte e montagens de estruturas pré-moldadas (figura 1.1), em aplicações de cargas construtivas ou de protensão, entre outras atividades construtivas, pode surgir a necessidade de se estimar *in loco* a resistência à compressão do concreto da peça estrutural.



Figura 1.1 – Montagem de pilar pré-moldado (0,3x0,6x24m) em idades iniciais

Segundo Santos *et al.* (2003), foi verificado que na região do litoral catarinense é muito comum o controle tecnológico do concreto ser realizado somente pelas concreteiras, sendo estes os dados utilizados pelas construtoras para a avaliação do concreto utilizado em suas obras, ocorrendo, portanto, uma total falta de controle de qualidade do concreto pelas construtoras ou empresas terceirizadas por elas. Normas técnicas específicas regulamentam o controle tecnológico do concreto tanto pela central dosadora de concreto (NBR 7212, 1984) quanto pela construtora (NBR 12655, 1996).

Outra opção utilizada como controle tecnológico, apresentando bons resultados, é a utilização de ensaios não destrutivos para avaliação da resistência do material. Com a utilização de ensaios não destrutivos, a estrutura não será danificada, podendo ser avaliada a qualquer idade.

A aplicação de técnicas não destrutivas para controle da qualidade da obra permite detectar em um curto espaço de tempo possíveis problemas que possam comprometer uma estrutura. Também podem ser aplicados para avaliar a resistência à compressão em idades avançadas, como no caso de um possível aumento de carga numa estrutura, estimando a resistência à compressão para decidir-se sobre possíveis reforços estruturais.

Para se conhecer a resistência à compressão do concreto de uma estrutura existente, pode-se extrair testemunhos para posterior rompimento em ensaios de compressão. Este procedimento é usualmente mais oneroso por envolver mobilização de equipamentos. Além disso, pode-se afetar a integridade da peça.

Os ensaios não destrutivos oferecem vantagens significativas no que diz respeito à velocidade de execução, custo e ausência de danos à estrutura em relação aos ensaios que requerem a remoção de amostras para um posterior exame. Eles permitem a realização de uma maior quantidade de ensaios, possibilitando, assim, uma investigação mais abrangente da estrutura em estudo. Outra vantagem que merece destaque é a imediata disponibilidade de resultados que eles propiciam.

Ensaio não destrutivo também podem ser utilizados para avaliar a homogeneidade de estruturas de concreto já executadas, quando se torna questionável a qualidade do concreto utilizado em obras.

O sucesso da aplicação de ensaios não destrutivos *in loco* depende do conhecimento e experiência profissional de quem realiza os ensaios, assim como das curvas de correlação adotadas às medições de resistência do concreto (Evangelista, 2002). Tais curvas de correlação dependem de vários fatores como, os correlacionados à resistência do concreto, condições de cura, relação água/cimento, idade.

Esclerometria, penetração de pinos, método da maturidade e ultra-som, são alguns exemplos de métodos não destrutivos para avaliação da resistência do concreto.

A esclerometria é o método não destrutivo mais utilizado para avaliação da resistência *in loco*. Já o método de penetração de pinos é o menos utilizado no Brasil (Evangelista, 2002).

O método do esclerômetro consiste em submeter a superfície da estrutura de concreto um impacto de maneira padronizada utilizando uma determinada massa com certa energia, medindo-se o valor do ricochete (índice esclerométrico). Parte desta energia é absorvida no impacto e está relacionada à dureza superficial da peça (ACI 228.1R, 2003). A resistência é estimada por meio de curvas de calibração relacionando o índice esclerométrico com a resistência à compressão do concreto.

O ensaio de ultra-som baseia-se no fato de que a velocidade de propagação da onda ultra-sônica no concreto é influenciada pela densidade e propriedades elásticas do concreto. O método consiste na medição do tempo de propagação que a onda ultra-sônica leva para atravessar a peça de concreto. A velocidade média de propagação da onda é o comprimento percorrido entre os transdutores dividido pelo tempo de propagação (Malhotra, 1984). Com a velocidade da onda, pode-se avaliar a qualidade do material com relação à sua homogeneidade, resistência à compressão, densidade e módulo de elasticidade.

O método de penetração de pinos foi desenvolvido nos anos 60 nos Estados Unidos. Este relaciona a resistência do concreto com a profundidade de penetração de um pino ou parafuso disparado por uma pistola na superfície do concreto. Este ensaio utilizado para avaliar a resistência do concreto é normalizado nos Estados Unidos pela ASTM C 803, 1990. O método baseia-se na absorção da energia cinética inicial do pino pelo concreto. Parte da energia é absorvida pela fricção entre o pino e o concreto, e outra parte na fratura do concreto. É necessário que o equipamento forneça valores constantes de energia cinética ao pino no momento do disparo (ACI 228.1R, 2003). O equipamento padrão é chamado de pistola de *Windsor*. No Brasil é utilizado um equipamento similar, devido a inexistência da pistola de *Windsor* no país. Os poucos usuários deste método não destrutivo utilizam-se da pistola de pinos *Walsywa*, que é facilmente encontrada nas lojas de materiais de construção.

Com o método da maturidade é possível estimar a resistência à compressão do concreto a partir de leituras de temperaturas do concreto nas primeiras idades. O modelo matemático foi desenvolvido nos anos 50, relacionando o desenvolvimento da resistência com o tempo e temperatura do material. Quando a dosagem dos materiais utilizados para a confecção do concreto permanecer a mesma durante a obra, com pequenas variações nas quantidades de seus componentes, este método possibilita programar atividades a partir da leitura de temperatura do material.

Neste trabalho está apresentado um estudo experimental da utilização dos métodos não destrutivos supra citados, na avaliação da resistência à compressão de misturas de concreto normalmente utilizadas na Grande Florianópolis, SC. Foram produzidas misturas de concreto em laboratório de resistências características de 20,

25 e 30MPa, avaliando-se suas resistências até os 90 dias. As curvas de correlação obtidas em laboratório foram aplicadas em duas obras da Grande Florianópolis, onde foram realizados ensaios não destrutivos *in loco*.

1.2 - OBJETIVO

Diante do que foi descrito, este trabalho tem como principal objetivo a caracterização de concretos de 20, 25 e 30MPa utilizados na Grande Florianópolis, através dos ensaios não destrutivos de ultra-som, penetração de pinos, esclerometria e maturidade, traçando correlações com a resistência à compressão.

De forma mais específica, este trabalho tem como objetivo:

- Avaliar a influência da cura úmida e cura ao ar do concreto na utilização dos métodos não destrutivos em correlação a resistência à compressão;
- Verificar a influência do tipo de transmissão da onda ultra-sônica no concreto (direta e indireta);
- Verificar a influência de diferentes formas geométricas de corpos-de-prova utilizados para o ensaio de ultra-som;
- Testar a eficácia do método de penetração de pinos, como ensaio não destrutivo na avaliação de concretos, com o equipamento de fabricação nacional;
- Desenvolver curvas de maturidade para os concretos usuais da Grande Florianópolis;
- Testar *in loco* as curvas de correlação feitas através dos ensaios em laboratório, em algumas obras da Grande Florianópolis.

1.3 - CONTEÚDO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 7 capítulos. No capítulo 2, são descritos, de uma maneira geral, os métodos de ensaios não destrutivos para a avaliação da resistência à compressão do concreto, entre outros dados referentes a estruturas de concreto. No

capítulo 3, encontra-se uma revisão bibliográfica somente dos métodos utilizados neste trabalho. No capítulo 4, está descrito o programa experimental. No capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados. Análises e curvas de correlação propostas estão no capítulo 6. As conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros estão no capítulo 7.

2 - ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

2.1 – GENERALIDADES

A resistência à compressão do concreto é usualmente avaliada experimentalmente aos 28 dias. Entretanto, em muitas ocasiões, surge a necessidade de avaliar-se a resistência à compressão em idades diferentes de 28 dias, para seguimento de algumas atividades construtivas como: desforma de peças estruturais, transporte e montagens de estruturas pré-moldadas, aplicações de cargas construtivas ou de protensão, por exemplo. Desta forma, há de se buscar outros métodos rápidos e seguros de avaliação da resistência do concreto.

Aliado a esta necessidade, desde a década de 60 aumentou consideravelmente o interesse na avaliação *in loco* do concreto endurecido, pois um grande número de estruturas começou a apresentar sinais de deterioração, e as condições laboratoriais dos corpos-de-prova não representavam precisamente as condições de obra (Malhotra, 1984).

Existe uma vasta quantidade de ensaios não destrutivos e parcialmente destrutivos, que podem ser utilizados para este fim, embora não sejam de uso rotineiro no controle de qualidade do concreto. Carino (1994) divide os ensaios não destrutivos em dois grupos:

- **Para avaliação da resistência do concreto:** esclerometria, ensaio de arrancamento, ensaio de fratura interna, ensaio de penetração de pinos, ensaio de aderência, ensaio de torque *Stoll*, método da maturidade, ultra-som, e métodos combinados.
- **Para avaliação de estruturas:** inspeção visual, auscultação, eco-impacto, termografia infravermelha, radar de sub-superfície, métodos nucleares, métodos magnéticos e elétricos, emissão acústica, fibras óticas, e penetrabilidade.

Os mais difundidos são a esclerometria e o ultra-som. Diversos métodos não destrutivos para avaliação da resistência à compressão têm sido propostos, mas

somente a esclerometria, penetração de pinos, *pullout test*, ultra-som, maturidade, extração de testemunhos são padronizados pela ASTM. No Brasil, os métodos de ultra-som e esclerometria são padronizados pelas normas NBR 8802 (1994) e NBR 7584 (1995), respectivamente.

Ensaio não destrutivo, por definição, são os ensaios que não causam dano algum no elemento ensaiado ou, deixam pequenos danos para serem reparados após o ensaio, e não provocam perda da capacidade resistente da peça. Estes ensaios podem ser utilizados em estruturas novas ou antigas. No caso de estruturas novas, eles podem ser utilizados no monitoramento da evolução da resistência ou verificação da qualidade do concreto. Já em estruturas existentes, permitem avaliar a integridade e capacidade de resistência às solicitações.

O uso de ensaios não destrutivos varia bastante, podendo ser utilizados como controle tecnológico em estruturas pré-moldadas, na verificação da qualidade de materiais fornecidos, para esclarecer dúvidas sobre a mistura de concreto, compactação, lançamento, cura ou transporte de concreto, para monitorar a evolução da resistência, para localizar fissuras, falhas e vazios no concreto, para determinar a posição, diâmetro e condições da armadura, na avaliação da uniformidade do concreto, para localizar deteriorações devido a sobrecargas, incêndios ou agressividade do meio ambiente, entre outros (BS 1881: Part 201, 1986 *apud* Evangelista, 2002).

2.2 – RESISTÊNCIA DO CONCRETO E CURVAS DE CORRELAÇÃO

A resistência do concreto nas estruturas é estimada por meio de ensaios de corpos-de-prova padronizados, regidos por normas técnicas específicas. Sabe-se, no entanto, que as condições *in loco* podem ser variáveis, com diferenças de lançamento, transporte, compactação, cura e exsudação, levando a peça a possuir, em geral, uma resistência menor do que a obtida em ensaios de corpos-de-prova.

Os principais fatores que influenciam a resistência do concreto, de acordo com Metha e Monteiro (1994) e Neville (1997), são as propriedades do cimento, agregados, aditivos químicos e adições minerais, a relação água/cimento, a relação agregado/cimento, e condições de cura e idade.

Segundo Bartlett e MacGregor (1999), as variações da resistência *in loco* de uma estrutura de concreto devem-se às: variações inerentes a cada betonada, variações entre betonadas, variações próprias de cada elemento estrutural e variações entre os elementos estruturais. A variação entre betonadas pode aumentar a variação da resistência do elemento estrutural se cada um for moldado empregando-se várias betonadas, ou aumentar a variação entre elementos se cada um for moldado com uma única betonada. Assim, para uma avaliação global da resistência do concreto numa estrutura é necessário conhecer o número de betonadas representadas pela amostragem de cada local selecionado.

Para a avaliação da resistência do concreto *in loco* a partir de ensaios não destrutivos, são necessárias curvas de correlação entre resultados dos ensaios não destrutivos e a resistência à compressão do concreto. Alguns equipamentos, como o esclerômetro, já trazem curvas de correlação a serem utilizadas. A utilização dessas curvas não é recomendada, visto que as correlações podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como a utilização de agregados diferentes, cimentos diferentes e processos de cura diferentes, na confecção dos elementos.

O procedimento mais adequado é determinar a curva de calibração do concreto a ser investigado, e sempre que houver mudança na utilização de materiais, determinar uma nova curva (Malhotra, 1984).

Para o emprego do ensaio não destrutivo em campo, é aconselhável estabelecer as correlações através de um estudo experimental em laboratório, usando os mesmos materiais que serão utilizados na obra.

Para alguns ensaios, é possível utilizar o corpo-de-prova para primeiramente fazer os ensaios não destrutivos e depois em seguida o ensaio de resistência à compressão. Em outros casos faz-se necessária a utilização de diferentes corpos-de-prova. É de grande importância que todos os corpos-de-prova tenham as mesmas condições de compactação, maturidade e condições de cura.

2.3 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Muitas vezes faz-se necessário saber não somente a resistência do concreto de uma estrutura, mas também algumas características como posição e diâmetro de armaduras, níveis de corrosão de armaduras, teor de umidade, fissuras, falhas, vazios, descontinuidades do concreto, entre outros (Malhotra, 1984). Existem vários métodos que podem ser utilizados para tal finalidade. Abaixo estão resumidamente descritos alguns destes métodos.

- **Métodos Eletrônicos:** Através de métodos eletrônicos, é possível investigar a corrosão de armaduras em estruturas de concreto, através da estimativa do potencial elétrico da armadura em relação ao eletrodo de referência. Também é possível estimar espessuras de lajes pelo princípio de que o concreto oferece resistência à passagem de corrente elétrica. E o teor de umidade pode ser estabelecido pelo princípio de que a condutividade do concreto muda de acordo com o teor de umidade (Malhotra, 1984).

- **Métodos Magnéticos:** Há instrumentos magnéticos que podem detectar a posição das armaduras dentro do concreto. Isso é possível pelo fato de que a presença do aço afeta um campo eletromagnético. Tais instrumentos informam o cobrimento, diâmetro e localização das armaduras no concreto (Metha e Monteiro, 1994).

- **Métodos Nucleares:** Através de métodos nucleares pode-se estimar teores de umidade baseando-se na dispersão de nêutrons, partindo do princípio de que materiais, como a água, diminuem a velocidade dos nêutrons de acordo com a quantidade de hidrogênio produzido por eles. O teor de cimento no concreto endurecido é estimado pela ativação de nêutrons.

- **Métodos Radioativos:** compreendem a radiografia e radiometria. No concreto, pode ser utilizado a radiografia com raio-X, radiografia com raio-g e radiometria com raio-g. É possível obter a posição de armaduras e suas condições, detectar vazios, segregações, condições de grauteamento nas bainhas nos elementos protendidos, fissuras, densidade do concreto e espessura do elemento (Malhotra, 1984, Bungey, 1989).

- **Emissão Acústica:** Durante a deformação plástica ou aparecimento de fissuras numa estrutura de concreto, a liberação rápida da energia de deformação produz ondas acústicas que podem ser detectadas por sensores em contato com a superfície do concreto (ACI-364, 1993).
- **Permeabilidade:** Em estruturas que se deve impedir a passagem de água, a permeabilidade do concreto tem sido critério importante. Em 1973, Figg apresentou um ensaio para avaliar a permeabilidade do concreto, e a partir daí variações deste ensaio vem sendo apresentadas na literatura técnica (Bungey, 1989).
- **Eco-impacto:** No método do eco-impacto, a reflexão de pulsos no osciloscópio, geradas por meios mecânicos, são usadas para a análise de ondas que contornam os vazios e descontinuidades do concreto (Malhotra, 1984).
- **Frequência de Ressonância:** Pode-se calcular o módulo de elasticidade dinâmico do concreto, através do método de frequência de ressonância. É aplicada uma vibração no corpo-de-prova, que pode ser longitudinal, transversal ou torsional. O emissor é ativado por um oscilador de frequência variável num intervalo de 10Hz a 10.000Hz e o coletor recebe as vibrações amplificadas (Neville, 1997).
- **Termografia Infravermelha:** São medidas e gravadas emissões de calor em uma estrutura. Essa emissão de calor é influenciada por fissuras e descontinuidades da peça. Este método vem sendo utilizado para avaliação de chaminés e tabuleiros de pontes. Seus resultados são influenciados pelo teor de umidade do concreto (Malhotra, 1984).
- **Método do RADAR:** Com o método *RADAR (Radio Detection and Ranging)*, através do princípio de reflexão e transmissão de ondas eletromagnéticas, pode-se detectar, por exemplo, vazios no concreto e medir espessuras de pavimentos (Malhotra, 1984).

3 - MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Os métodos não destrutivos para avaliar a resistência à compressão do concreto, abordados por este trabalho, são: esclerometria, ultra-som, penetração de pinos e maturidade. A seguir estão descritas as particularidades de cada um destes métodos.

3.1 - ULTRA-SOM

As primeiras publicações sobre medições de pulsos gerados mecanicamente surgiram nos Estados Unidos, por volta de 1940 (Bungey, 1989). Já nos anos 60, deu-se o desenvolvimento de equipamentos portáteis, como o *PUNDIT* (*Portable Ultrasonic Non Destructive Indicating Tester*), desenvolvido no início da década de 70. Esse equipamento é leve, com bateria própria e mostrador digital do tempo de propagação da onda ultra-sônica (figura 3.1), podendo ser utilizado em peças de concreto com espessura de até 20 metros, aproximadamente (Meneghetti, 1999).

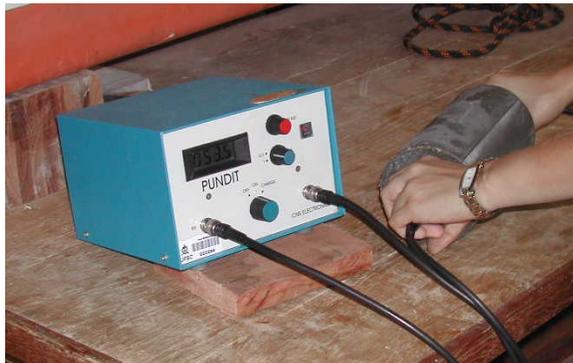


Figura 3.1 – Equipamento de Ultra-som (PUNDIT)

As ondas ultra-sônicas possuem frequência entre 20kHz e 1.000MHz. As frequências das ondas audíveis (sônicas) estão entre 16Hz e 20kHz, enquanto que as frequências das ondas sub-sônicas estão abaixo de 16Hz.

Os tipos de ondas são geralmente conhecidos como longitudinal (compressão), transversal (cisalhamento) e de superfície (*Rayleigh*). Cada tipo de onda proporciona

um movimento específico das partículas no concreto. As ondas longitudinais são duas vezes mais rápidas que os outros dois tipos, excitando as partículas na mesma direção em que as ondas se propagam. As ondas transversais têm as partículas movimentando-se perpendicularmente à direção de percurso da onda. As ondas de superfície têm percurso ao longo da superfície e têm as partículas posicionadas elipticamente. Em geral, os transdutores são projetados para gerar ondas longitudinais, por serem mais rápidas (Bungey, 1989).

3.1.1 – O Método

O método de ultra-som baseia-se no fato de que a velocidade (V) de propagação das ondas é influenciada pela densidade e propriedades elásticas do concreto. O ensaio consiste na medição do tempo (T) em que ondas ultra-sônicas levam para atravessar o concreto, ou seja, atravessar a distância (L) entre o transmissor e receptor (figura 3.2). O comprimento percorrido é dividido pelo tempo, resultando na velocidade média de propagação, $V=L/T$ (Malhotra, 1984).

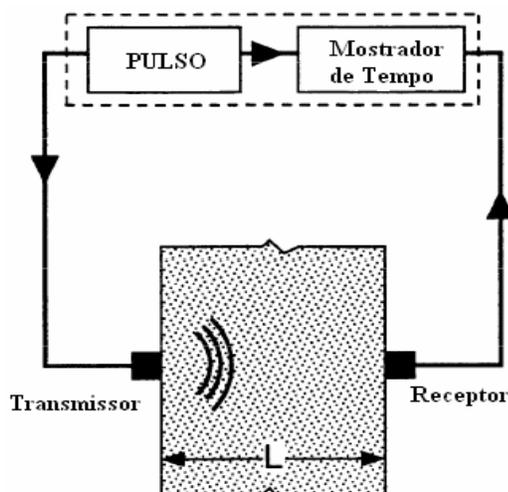


Figura 3.2- Esquema de funcionamento do aparelho de ultra-som (ACI 228.1R, 2003)

A velocidade da onda ultra-sônica longitudinal em um material sólido depende de sua densidade e de suas propriedades elásticas, como mostra a equação 3.1 (Bungey, 1989).

$$V = \sqrt{\frac{KE_d}{\rho}} \quad \text{Equação 3.1}$$

sendo:

$$k = \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \quad \text{Equação 3.2}$$

onde:

V = velocidade da onda (m/s)

E_d = módulo de elasticidade dinâmico (kN/mm²)

r = massa específica (kg/m³)

n = coeficiente de Poisson dinâmico

O ensaio de ultra-som pode ser feito através de transmissões direta, indireta e semidireta, na superfície do concreto (figura 3.3). As leituras, de acordo com a equação 3.1, são influenciadas pelo coeficiente de *Poisson*, módulo de elasticidade dinâmico, massa específica do concreto e, no caso de concreto armado, a presença de armaduras e vazios.

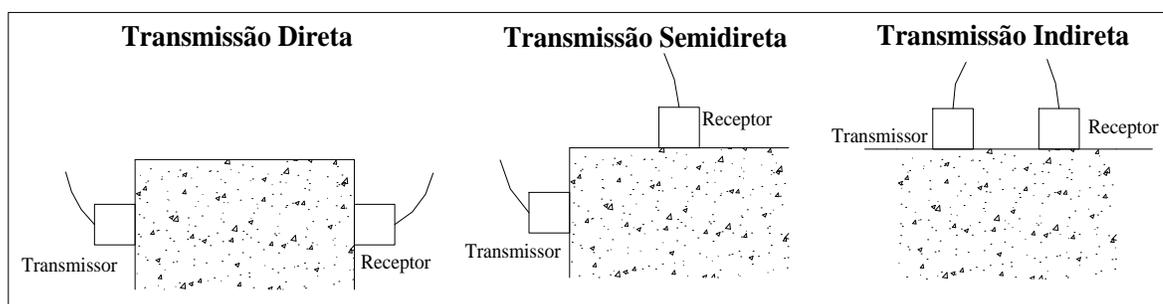


Figura 3.3 - Tipos de transmissões das ondas ultra-sônica na superfície do concreto

3.1.2 – Vantagens e Limitações

O equipamento de ultra-som é de fácil operação e custo pouco elevado. Ele pode avaliar o concreto em todo o comprimento do elemento, se utilizada transmissão direta. O ensaio realizado é totalmente não destrutivo. Tem como pontos críticos a boa

ligação entre transdutores e superfície do concreto e a interpretação dos resultados, que pode ser difícil (Malhotra, 1984, ACI-364,1993). A superfície do concreto deve ser lisa, permitindo o perfeito contato dos transdutores, e não deve possuir revestimento algum, que poderá ter propriedades diferentes das do concreto. Pode ser utilizado como acoplante entre as faces dos transdutores e do material a ser ensaiado, graxas de silicone ou mineral e vaselina.

A estimativa da resistência pode ser influenciada pelo tipo de agregado, relação água/cimento, idade do concreto, dimensão e graduação dos agregados e cura (Bungey, 1989). A correlação entre velocidade da onda e resistência poderá ser mal interpretada se no elemento existirem fissuras, vazios, entre outras discontinuidades, ou até mesmo armadura. Quando feita a correlação, o método possibilita estimar a uniformidade e resistência à compressão.

Segundo Pinto *et al.* (2004a), o ensaio de ultra-som *in loco* mostra-se eficaz na verificação da homogeneidade do concreto e na estimativa da resistência à compressão, porém apresenta o inconveniente de depender da desforma da estrutura, que poderá acontecer após vários dias da concretagem, impossibilitando estimar-se a resistência do concreto nas primeiras idades. Este inconveniente pode ser superado utilizando janelas com tampas removíveis na fôrma da estrutura a ser concretada, que podem ser abertas para a utilização do ultra-som e posteriormente fechadas, antes que ocorra a desforma da peça por inteiro.

3.1.3 – Aplicações

O método de ultra-som possibilita estimar a uniformidade do concreto, como também avaliar danos provocados pelo fogo, gelo, ou agentes químicos (Chang e Law, 1983). Se houver discontinuidades no concreto, estas podem ser detectadas através do ultra-som, pela diferença de velocidades das ondas ultra-sônicas (ACI 364, 1993).

Através da equação 3.1, vê-se que a velocidade de propagação é diretamente proporcional a raiz quadrada do módulo dinâmico de elasticidade. Esta relação possibilita utilizar medições de velocidade para indiretamente avaliar a resistência à compressão, considerando que haja uma relação direta entre E_d e f_c .

3.1.4 – Fatores que Influenciam os Resultados

Segundo Meneghetti (1999), o conhecimento prévio dos fatores de influência é decisivo para que o método seja utilizado com sucesso. A seguir são apresentados diversos fatores que influenciam nos resultados de ensaios com ultra-som.

- **Condições da superfície:** A superfície da peça de concreto em que o ensaio será executado deve ser lisa, para garantir o perfeito contato entre os transdutores com a mesma. Evitar superfícies que receberam acabamento, pois este pode não ser o representativo de toda a peça (Bungey, 1989).
- **Tipo de agregado:** Sturup *et al.* (1984) verificaram que, para uma dada resistência à compressão, a diferença entre a velocidade da onda em concretos convencionais e concreto pesado foi pequena, diferindo para concreto leve, onde a diferença de velocidade de propagação da onda foi maior. Agregados graúdos e miúdos têm módulos de elasticidade e velocidades de propagação da onda maiores que o da pasta de cimento. Com isso, concreto com massas específicas maiores, ou com maior quantidade de agregados, apresenta maiores velocidades de propagação da onda (Chung e Law, 1983). A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas é influenciada significativamente por agregados leves e dimensão máxima do agregado graúdo. Nas correlações entre a resistência à compressão e velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas, verificou-se que se pode adotar uma única correlação para concretos de agregados britados e um mesmo tipo de cimento, mas se usado outro tipo de agregado leve e/ou cimento, outra correlação é necessária (Evangelista, 2002).
- **Proporção de materiais:** Sturup *et al.* (1984), utilizando cinco concretos com materiais similares, porém com diferentes relações água/cimento e agregado/cimento, observaram que, para uma determinada velocidade, a resistência diminui quando a relação água/cimento diminui, ou quando o teor agregado/cimento aumenta. Para resistências nas idades iniciais, a influência do proporcionamento da composição é menor do que em idades mais avançadas.
- **Tipo de Cimento:** Segundo Sturup *et al.* (1984), a diferença entre

concretos com cimento *Portland* comum e de alta resistência inicial, não é significativa no ensaio de ultra-som. Evangelista (2002) estudou a diferença de velocidade da onda ultra-sônica entre concretos com cimento *CP III* e *CP V*, que apresentaram, de modo geral, valores cerca de 5% maiores para concretos com cimento *CP V*.

- **Teor de Umidade:** Há um aumento de velocidade da onda ultra-sônica em concretos que apresentam maior umidade. O oposto ocorre com a resistência à compressão, ou seja, há uma queda da resistência quando o concreto apresenta maior umidade (Naik *et al.*, 2004).

- **Armaduras:** Se em um concreto não existir presença de armaduras, fissuras ou vazios, as ondas sonoras percorrem o menor caminho entre os dois transdutores. Porém, se existirem armaduras localizadas nas proximidades dos transdutores, as ondas podem transitar parte através delas e, parte através do concreto. Como a velocidade das ondas sonoras é maior entre 1,2 e 1,9 vezes no aço do que no concreto, o primeiro pulso a chegar pode percorrer concreto e aço (Sturup *et al.*, 1984). Dornelles *et al.* (2004), afirma que a presença de umidade na peça de concreto, que parece não influenciar significativamente as medidas de velocidade das ondas ultra-sônicas, quando utilizado o ultra-som com transdutores próximos as barras de aço, a umidade têm importância quando o concreto está nas primeiras idades. Neste caso, a elevada presença de umidade requer uma correção diferenciada quando as leituras são realizadas próximas às barras de aço ou em regiões com menor densidade de armadura. Bungey (1989) verificou que as barras transversais que interferem no percurso da onda é significativamente menor do que a das barras longitudinais. Barras transversais com diâmetros menores que 20mm praticamente não são detectadas em concretos com velocidade da onda acima de 4km/s. Já em barras longitudinais com diâmetros acima de 6mm, paralelas ao percurso da onda, a influência é significativa.

- **Fissuras:** Se houver uma fissura no concreto, esta intercepta o caminho das ondas, que contornam a fissura, resultando em um percurso maior. A velocidade da onda vai depender do tamanho da fissura e do que está

preenchendo o vazio, se é ar ou água, pois a velocidade da onda sonora é maior na água do que no ar (Sturup *et al.*, 1984).

- **Homogeneidade:** Dornelles *et al.* (2005) confirmaram a eficiência do método de ultra-som para avaliação da homogeneidade de peças estruturais de concreto. Porém, esta eficiência depende da escolha de pontos adequados para realização das leituras, que deve ser feita através de um reticulado condizente com a dimensão da região defeituosa, dependendo também da peça estrutural e da precisão exigida do ensaio.

- **Freqüência dos transdutores:** São apropriados para o concreto, transdutores com freqüências entre 20 e 150kHz, sendo o mais utilizado o de 54kHz. O aparelho (PUNDIT) possibilita a transformação do pulso elétrico em onda de choque, numa faixa de 24 a 500kHz. A distância no elemento a ser percorrida não deve ser menor que o comprimento da onda (equação 3.3). A dimensão máxima dos agregados graúdos também deve ser inferior ao comprimento da onda (1) para evitar a redução de energia da onda ou perda de sinal (Bungey, 1989).

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad \text{Equação 3.3}$$

onde:

λ = comprimento da onda

v = velocidade do pulso

f = freqüência de vibração

3.1.5 – Normalização

O método de ultra-som é padronizado pela Norma Americana (ASTM C 597, 1983), assim como pela Norma Mercosul (NM 58, 1996) e Brasileira (NBR 8802, 1994).

A Norma Brasileira descreve como principais aplicações deste método, a verificação da homogeneidade do concreto, a detecção de eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições, e o monitoramento de variações no concreto, ao longo do tempo, decorrentes de agressividade do meio (ataque químico), principalmente pela ação de sulfatos.

Indica como acoplante a ser utilizado entre as faces dos transdutores e do material a ser ensaiado, graxas de silicone ou mineral e vaselina, para concretos de superfície lisa.

A superfície da peça a ser ensaiada deve ser plana, lisa e isenta de sujeira. Caso contrário, deve-se regularizar a superfície com processo mecânico ou com camada de pasta de cimento, gesso ou resina epóxi, de espessura mínima.

Os corpos-de-prova ensaiados devem ter as mesmas condições de composição e umidade relativa.

A apresentação dos resultados deve conter como informações a localização na estrutura e identificação dos corpos-de-prova ou componentes do concreto ensaiado, distância entre as superfícies de contato dos transdutores durante o ensaio, direção de propagação da onda, indicação da posição relativa dos transdutores, velocidade de propagação, descrição sucinta da preparação das superfícies e condições de umidade do concreto, entre outras informações que se fizerem necessárias.

3.1.6 – Curvas de Correlações

A resistência do concreto é comumente controlada pela pasta de cimento, e a velocidade da onda ultra-sônica principalmente pelas propriedades dos agregados. A correlação entre resistência à compressão e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas é influenciada pela complexidade da estrutura interna do concreto (Naik *et al.*, 2004).

A correlação entre resistência à compressão (ou módulo de elasticidade) pode ser estabelecida fazendo-se ensaios de ultra-som em corpos-de-prova de um

determinado concreto. Esta correlação poderá ser utilizada posteriormente para estimar a resistência deste mesmo concreto (ASTM C 597, 1983).

De acordo com a BS 1881: Part 203 (1986) *apud* Evangelista (2002), as curvas de correlação devem ser obtidas experimentalmente para cada tipo de concreto, ensaiando-se vários corpos-de-prova com resistências baixas, médias e altas. Recomenda ainda a moldagem de no mínimo três corpos-de-prova por betonada, onde em cada corpo-de-prova devem ser efetuadas três medições de velocidade entre o topo e a base, sendo necessária uma variação menor que 5% do valor médio das três medições.

Segundo Malhotra (1984), o método do ultra-som é um dos que apresentam as menores variações para ensaios *in loco*. Para ensaios realizados em laboratório, o coeficiente de variação é da ordem de 2%.

Segundo Facaoaru (1984) *apud* Evangelista (2002), a acurácia do método de ultra-som é a seguinte:

- a) 12 a 16% - quando há corpos-de-prova disponíveis e se conhece a composição do concreto;
- b) 14 a 18% - quando há apenas corpos-de-prova ou testemunhos disponíveis;
- c) 18 a 25% - quando se conhece apenas a composição do concreto;
- d) acima de 30% - quando não há corpos-de-prova nem testemunhos, e não se conhece a composição do concreto, dependendo apenas da experiência do profissional e de dados auxiliares.

3.2 - ESCLEROMETRIA

De acordo com Bungey (1989), em 1930 ocorreram as primeiras tentativas de medir a dureza superficial do concreto. Eram feitas medições do retorno de uma bola fixa num pêndulo ou, atirada por meio de uma pistola. O princípio do ricochete baseia-se no fato de que o retorno de uma massa elástica depende da dureza da superfície onde ela se choca (teoria de choque elástico).

Em 1948, o engenheiro suíço Ernest Schmidt, desenvolveu um aparelho conhecido mundialmente como *Schmidt Hammer* para medir a dureza superficial do concreto. A utilização do aparelho está baseada no princípio do ricochete e está representado esquematicamente na figura 3.4.

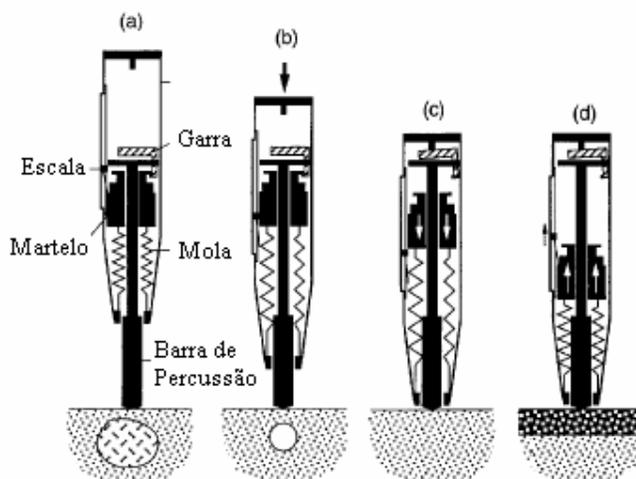


Figura 3.4 – Esquema de ensaio de esclerometria (ACI 228.1 R, 2003)

Apesar de ser um método de ensaio não destrutivo bastante antigo, o esclerômetro de *Schmidt* continua sendo muito usado em vários países, pois o equipamento permite várias leituras em um curto espaço de tempo na avaliação da uniformidade de uma estrutura. O aparelho é leve, de fácil operação e baixo custo.

3.2.1 – O Método

O método da esclerometria também é chamado de *rebound hammer method*. No ensaio, quando se comprime a barra de percussão contra a superfície do concreto, uma massa (martelo) com uma mola adquire uma quantidade de energia devido à extensão da mola até uma determinada posição. Quando a mola se solta, a massa sofre rebote ao se chocar contra a barra de percussão, ainda em contato com o concreto (figura 3.5). A distância percorrida pela massa no retorno, em porcentagem da deformação inicial da mola, é denominada índice esclerométrico (IE) (Neville, 1997).



Figura 3.5 – Utilização do esclerômetro em estrutura de concreto

Parte da energia cinética é absorvida na fricção mecânica do equipamento, e outra parte na interação entre a barra de percussão do esclerômetro e o concreto. A energia que é absorvida depende da relação tensão-deformação, portanto, está relacionada à resistência e à rigidez do concreto (ACI 228.1R, 2003).

Curvas de calibração são traçadas possibilitando estimar-se a resistência do concreto.

3.2.2 – Vantagens e Limitações

A facilidade de manuseio, o baixo custo do equipamento, a rapidez com que os dados são obtidos e danos praticamente nulos à superfície ensaiada, podem ser citadas como algumas das vantagens desse ensaio. Pequenas marcas na superfície ensaiada podem ocorrer em concretos de baixas idades ou baixas resistências.

Este método ajuda na avaliação da uniformidade superficial do concreto, no monitoramento da resistência do elemento ao longo do tempo, além de estimar a resistência. Tem a limitação ocasionada pela carbonatação do concreto que, com o passar do tempo atinge uma certa camada superficial da peça, influenciando nos índices esclerométricos (NBR 7584, 1995).

O esclerômetro deve ser usado preferencialmente ortogonalmente na área de ensaio. Quando o ensaio não for executado na posição horizontal, o índice

esclerométrico deve ser corrigido, pois, os resultados são afetados pela influência da gravidade sobre a força da mola do esclerômetro. O impacto do esclerômetro não deve provocar vibração na peça. Peças pequenas devem ser apoiadas ou fixadas (Evangelista, 2002).

Fatores que podem influenciar somente a superfície do concreto, como o grau de saturação superficial (diminuem o índice esclerométrico), ou a carbonatação (eleva o índice esclerométrico), influencia pouco nas camadas mais profundas. Esta é a principal limitação deste método, pois o ensaio com o esclerômetro indica as propriedades da camada superficial do concreto com cerca de 20 ou 30mm de profundidade (NBR 7584, 1995).

Segundo Bungey (1989), este método não deve ser aplicado em concretos com resistência à compressão inferiores a 10MPa. A NBR 7584 (1995), diferentemente, recomenda uma resistência mínima de 8MPa para a aplicação do método.

3.2.3 – Aplicações

Através deste método, pode-se verificar a homogeneidade do concreto comparando diferentes áreas da estrutura, sem que este seja danificado. Mesmo com precisão limitada, pode-se estimar a resistência do concreto baseando-se em curvas de correlação (ACI-364, 1993).

3.2.4 – Fatores que Influenciam os Resultados

Os principais fatores que influenciam os resultados do ensaio esclerométrico são: tipo de cimento, teor de cimento, posição do esclerômetro, carbonatação, acabamento da superfície, idade da peça, condições de umidade da superfície, rigidez da peça e tipo de agregado graúdo (Malhotra, 2004)

O acabamento da superfície influencia o valor de *IE*. Superfícies desempenadas, em geral, são mais duras que as superfícies que não são desempenadas. Deste modo, as superfícies que não estiverem lisas deverão ser preparadas com uma pedra abrasiva (de carbureto ou similar) antes da realização do ensaio (Neville, 1997).

Em superfícies saturadas, o *IE* pode ser 20% menor do que o obtido em superfície seca (Tam *et al.*, 1991). Em superfícies carbonatadas, resulta em *IE* maiores do que às camadas internas do elemento estrutural (ACI 228.1R, 2003).

A NBR 7584 (1995) cita que é necessário obter novas curvas de correlação sempre que houver mudança do tipo de cimento.

A NM 78 (1996) relata que o consumo de cimento por metro cúbico não tem influência significativa na correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão. Quanto ao tipo de cimento, descreve que concretos feitos com cimento aluminoso ou cimento supersulfatado (80% a 85% de escória de alto forno mais 10% a 15% de sulfato de cálcio) apresentam correlações diferentes das obtidas com cimento *Portland* comum.

Evangelista (2002), através de uma análise estatística de valores de *IE* de concretos com cimento *CP III* e *CP V* e diferentes relações de *a/c*, constatou que, para uma mesma idade e relação *a/c*, os maiores valores foram encontrados em concretos com cimento *CP V*.

A energia absorvida pelo concreto está relacionada com sua resistência e rigidez, portanto os índices esclerométricos são resultados da combinação dos dois. Como a rigidez é influenciada pelo tipo de agregado graúdo, conseqüentemente o índice esclerométrico também será influenciado (Neville, 1997).

O tipo de agregado influencia a rigidez do concreto, daí a necessidade de se obter curvas de correlação com os mesmos materiais utilizados na confecção do concreto da estrutura a ser investigada (ACI 228.1R, 2003). Diferentes tipos de agregados podem fornecer concretos de mesma resistência, porém índices esclerométricos diferentes (NBR 7584, 1995 e NM 78, 1996). Ainda segundo a NBR 7584 (1995), na utilização de agregados leves ou pesados, a variação ainda é mais acentuada.

A dimensão máxima do agregado graúdo pode influenciar os resultados, de modo que a presença de um agregado de grandes dimensões logo abaixo da superfície onde o pistão do esclerômetro for aplicado, pode resultar em um índice

esclerométrico elevado, ocorrendo o oposto se no lugar houver um vazio (Neville, 1997).

Fôrmas de madeira compensada absorvem a umidade do concreto, produzindo uma camada superficial mais dura do que a obtida em concretos moldados em fôrmas metálicas (ACI 228.1R, 2003).

3.2.5 – Normalização

O método de esclerometria é padronizado pela Norma Americana (ASTM C 805, 1985), assim como pela Norma Mercosul (NM 78, 1996) e Brasileira (NBR 7584, 1995), entre outras.

Segundo a Norma Brasileira, NBR 7584 (1995), o esclerômetro a ser utilizado em casos normais de construção de edifícios e postes, deve ter uma energia de percussão de 2,25Nm. com ou sem fita registradora automática. Para obras de grandes volumes de concreto, como concreto massa e pistas protendidas de aeroportos, energia de percussão de 30Nm e com energia de percussão de 0,9Nm, com ou sem aumento da calota esférica da ponta da haste, para concretos de baixa resistência. E, com 0,75Nm de energia de percussão, com ou sem fita registradora, para peças pequenas de concreto e sensíveis a golpes.

O esclerômetro deve ser aferido em uma bigorna especial de aço, antes de sua utilização ou a cada 300 impactos realizados numa mesma inspeção.

A superfície do concreto deve ser seca ao ar, limpa e plana. As áreas de ensaio devem ser preparadas por meio energético de polimento com prisma ou disco de carborundum, através de movimentos circulares, e devem distar no mínimo 50mm dos cantos e arestas das peças.

Em cada área de ensaio devem ser efetuados no mínimo 9 e no máximo 16 impactos. O espaço mínimo entre os centros dos pontos de dois impactos deve ser de 30mm.

Os esclerômetros não devem ser utilizados quando os índices obtidos forem menores que 20, e não se deve empregar esclerômetros com energia de percussão de 2,25Nm em concretos com resistências a compressão inferiores a 8MPa.

Para os resultados, calcular a média aritmética dos valores individuais dos índices esclerométricos, desprezando todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido, e calcular a média aritmética novamente, sendo necessários no mínimo 5 valores individuais. Nenhum dos valores deve estar afastado mais de 10% do valor médio obtido.

O método fornece apenas uma boa medida da dureza relativa superficial do concreto. As correlações com as demais propriedades do concreto são determinadas empiricamente ou verificadas através de outros ensaios específicos.

Para a avaliação direta da resistência à compressão do concreto, deve-se dispor de uma correlação confiável, efetuada com materiais locais e atentar para os fatores de influência, como: tipo de cimento, tipo dos agregados, tipo de superfície e sua umidade, carbonatação, entre outros.

3.2.6 – Curvas de Correlação

A RILEM NDT 3 (1984) descreve que os corpos-de-prova, cilíndricos ou cúbicos, devem ter dimensões grandes ($\approx 150\text{mm}$), evitando assim a influência do tamanho da peça nos resultados. Eles podem ser colocados nos pratos da prensa sob uma tensão de 1Mpa, ou fixados sobre bases rígidas, evitando assim, vibrações e deslocamentos no momento do ensaio.

A ASTM C 805 (1985), cita que preferencialmente os índices esclerométricos devem ser correlacionados com resultados de resistência à compressão de testemunhos extraídos da estrutura em questão.

A NM 78 (1996) recomenda que sejam feitos concretos variando a relação a/c entre 0,4 e 0,7, com intervalos de 0,05. Para cada valor da relação a/c , moldar no mínimo 2 corpos-de-prova cilíndricos 15x30cm, submetidos à cura úmida. Determina-se o índice esclerométrico médio e a resistência à compressão média entre os corpos-

de-prova. Calcula-se a média aritmética de cada variável, resistência e índice esclerométrico, que será um ponto na curva de correlação. Esta norma ainda recomenda que o ensaio com esclerômetro seja feito na prensa com uma carga de 15% do valor de ruptura do corpo-de-prova à compressão.

O Comitê 228.1R de ACI (2003) recomenda que, índices esclerométricos e resistência à compressão para traçar as curvas de correlação, sejam feitos em corpos-de-prova cilíndricos. Ao utilizar o esclerômetro, estes devem estar fixados na prensa com uma tensão de 3MPa. O esclerômetro deverá ser aplicado na mesma direção em que será aplicado na estrutura e, caso isto não seja possível, os valores deverão ser corrigidos com os coeficientes propostos pelos fabricantes dos aparelhos.

Segundo Malhotra (1984), desde que os corpos-de-prova sejam moldados, curados e ensaiados sob condições idênticas às usadas para estabelecer as curvas de correlação, a estimativa de resistência terá uma precisão em torno de 15 a 20%. Caso o ensaio seja feito diretamente na estrutura, a estimativa da resistência à compressão do concreto apresenta uma acurácia em torno de 25%.

Segundo Facaoaru (1984) *apud* Evangelista (2002), a acurácia do método esclerométrico é a seguinte:

- a) 12 a 18% - quando há corpos-de-prova ou testemunhos disponíveis, e se conhece a composição do concreto;
- b) 15 a 20% - quando há apenas corpos-de-prova ou testemunhos;
- c) 18 a 28% - quando se conhece apenas a composição do concreto;
- d) acima de 30 % - quando apenas se conhecem dados auxiliares e que a idade do concreto não seja superior a um ano.

O Comitê 228.1R de ACI (2003) relata que o coeficiente de variação médio do ensaio de esclerometria é de aproximadamente 10%.

3.3 - MÉTODO DE PENETRAÇÃO DE PINOS

Na década de 60, surgiu nos Estados Unidos um aparelho denominado *Windsor probe*, com o objetivo de estimar a qualidade e a resistência à compressão do concreto a partir da medição da profundidade de penetração de pinos ou de parafusos disparados por uma pistola contra uma superfície de concreto (Carino, 1997).

O método consiste na penetração do pino no concreto até que a sua energia cinética seja totalmente absorvida. Parte desta energia é absorvida pela fricção do pino no concreto, e outra na fratura do concreto (ACI 228.1R, 2003).

3.3.1 – O Método

O sistema utilizado internacionalmente denomina-se *Windsor Probe*, ou Pistola de *Windsor* e, através de curvas de correlação, estima-se a resistência do concreto a partir da profundidade da penetração dos pinos.

No Brasil fez-se uma adaptação do método de penetração de pinos. Esta adaptação é conhecida como método brasileiro de penetração de pinos, que utiliza pistola e pinos da marca *Walsywa* (figura 3.6), que foi utilizada pela primeira vez, para este fim, por Vieira (1978).



Figura 3.6 – Detalhe da pistola *Walsywa*, pinos e cartuchos

A potência do cartucho influencia a energia cinética inicial do pino, localizado no cano da pistola, que é impulsionado contra o concreto (ACI 228.1R, 2003).

3.3.2 – Vantagens e Limitações

O equipamento é de fácil operação, durável, necessita de pouca manutenção, e possui dispositivo de proteção contra disparos acidentais. A aplicação no campo é simples e rápida, necessitando apenas o acesso a uma das faces da estrutura para a realização do ensaio (Machado, 2005).

Segundo Malhotra (1984), o método é útil no monitoramento da resistência do concreto, causando pequenos danos superficiais no elemento estrutural, além de ser pouco sensível à experiência do operador. Experiências com a pistola *Walsywa* indicaram que é necessário que o equipamento seja operado por técnicos experientes para alcançar valores aceitáveis de variabilidade nos resultados (Pinto e Baggio, 2004).

Este ensaio é utilizado para estimar a compressão e uniformidade do concreto. Pode-se estimar a resistência do concreto nas primeiras idades, não sendo necessária a retirada das fôrmas de madeira, pois os disparos podem ser feitos através delas (ACI 364, 1993).

Deve-se evitar o ensaio em regiões onde existam barras de aço, o que nem sempre é fácil de saber, como no caso de estruturas antigas. Os elementos estruturais a serem ensaiados não devem ser esbeltos (devem ter espessura $\geq 150\text{mm}$), pelo fato de que podem ocorrer rachaduras nos mesmos durante a execução do ensaio. Deve-se respeitar uma distância mínima de 100mm das bordas da peça e 175mm entre os pinos (ACI 228.1R, 2003).

3.3.3 – Aplicações

O método é utilizado para estimar a resistência à compressão e uniformidade do concreto (ACI 364, 1993).

É um excelente método para medir o grau relativo de desenvolvimento da resistência do concreto nas primeiras idades, principalmente na determinação do tempo de retirada das fôrmas, tendo em vista, como já citado, a possibilidade de disparo através delas (Metha e Monteiro, 1994).

3.3.4 – Fatores que Influenciam os Resultados

A correlação entre penetração do pino e resistência à compressão, poderá mudar de acordo com o tipo de cura, tipo e tamanho do agregado, e nível de resistência do concreto (ASTM C 803, 1990).

Segundo Bungey (1989), o valor da profundidade de penetração do pino é influenciada principalmente pela dureza e pelo tipo do agregado graúdo utilizado no concreto.

A principal influência está nas características e proporcionamento dos agregados graúdos e miúdos no concreto.

Segundo Malhotra e Carette (2004), a carbonatação altera as características físicas e químicas em camadas da superfície do concreto, influenciando a profundidade de penetração do pino de forma relevante.

Segundo o Comitê 228-1R de ACI (2003) os valores deste ensaio não são influenciados pela textura e umidade superficial. Entretanto, Pinto e Dutra (2004) verificaram que a umidade superficial influenciou nos comprimentos cravados obtidos para lajes testadas, aumentando-os na ordem de 12%, utilizando a pistola *Walsywa*.

Se a superfície receber um acabamento com colher de pedreiro, esta terá uma camada superficial mais dura, valores menores e mais dispersos de penetração do pino (ACI 228.1R, 2003). O resultado também é influenciado pelo tipo de fôrma utilizada, aço ou madeira (ASTM C 803, 1990).

Segundo Bungey (1989), nas curvas de calibração propostas pelos fabricantes da pistola de *Windsor*, é considerada apenas a dureza superficial do agregado. No entanto, a aderência agregado/matriz devido às características da superfície do agregado, também influencia. Condições de umidade, dimensão máxima (acima de 50mm) e teor de agregado, já não são tão significativas.

Neville (1997) diz que a relação entre profundidade de penetração de pinos e resistência à compressão do concreto, depende muito da dureza do agregado graúdo, pois este é fraturado no momento da penetração do pino, o mesmo não ocorre no

ensaio de resistência à compressão de concretos convencionais. Com isso, concretos de mesma resistência apresentam diferentes valores de penetração.

Em concretos muito velhos ocorrem microfissuras entre o agregado e a pasta, afetando a resistência à compressão do concreto e não a resistência à penetração do pino (Malhotra e Carette, 2004).

Segundo Jenkins (1985), variações na carga de pólvora, limpeza e posicionamento da pistola, que deve ser perpendicular à superfície do concreto, podem influenciar na velocidade do disparo do pino e, conseqüentemente, na profundidade de penetração. Pinto e Baggio (2004), afirmam que a massa de pólvora dos cartuchos *Walsywa* utilizados no Brasil não é uma fonte relevante de variação dos resultados no ensaio de penetração, uma vez que não foi verificada nenhuma variação significativa nas massas dos mesmos.

Pinto e Dutra (2004), testaram o efeito da proximidade entre as cravações de pinos em uma laje, utilizando-se da pistola *Walsywa*. Os resultados obtidos indicam a aceitabilidade de espaçamentos de pelo menos 10cm entre cravações sucessivas nas primeiras idades. Espaçamentos maiores, da ordem de 20cm entre cravações foram necessários nos ensaios em idades avançadas.

Evangelista (2002), utilizando-se do método brasileiro, ao comparar resultados entre corpos-de-prova de concreto com cimento *CPIII* e *CPV*, verificou que a profundidade de penetração foi até 62% maior nos concretos com *CPIII*. Também, na utilização de diferentes $D_{m\acute{a}x}$ do agregado graúdo, verificou que concretos com brita gnaisse com $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$ apresentaram profundidades de penetração maiores que concretos com britas gnaisse com $D_{m\acute{a}x}=19\text{mm}$, sendo a diferença de 4% a 38%, para mesmo nível de resistência.

3.3.5 – Curvas de Correlação

Segundo a ACI 228.1R (2003), na realização de ensaios com 6 idades diferentes devem ser moldados 12 corpos-de-prova cilíndricos e uma laje com espessura mínima de 150mm com dimensões tais que possibilite a realização de 18 disparos. Em cada

idade, 2 cilindros são rompidos para verificar-se a resistência à compressão e executadas 3 cravações de pinos na laje. No caso de ensaio de elementos verticais *in loco*, a correlação deve ser estabelecida a partir da moldagem de uma parede onde serão realizados os ensaios de penetração de pinos e, junto a eles, a extração de testemunhos. Os corpos-de-prova e a laje deverão ser curados sob as mesmas condições de umidade e temperatura.

Se os corpos-de-prova forem moldados, curados e ensaiados sob condições idênticas às quais foram feitas as curvas de correlação, a estimativa de resistência apresenta acurácia em torno de 15 a 20%. Geralmente o coeficiente de variação dos resultados de penetrações é de 6 a 10% (Malhotra, 1984).

O equipamento normalizado (Pistola de *Windsor*) permite uma variação de até 5% nos resultados dos ensaios e recomenda-se que se faça a média de 3 disparos (ACI 228.1R, 2003). Com a utilização do equipamento brasileiro, Pinto e Baggio (2004) com o uso contínuo do aparelho, conseguiram uma variação de 6,8%, que está numa margem aceitável de confiabilidade. Estes fizeram a média de 22 disparos.

Pinto e Baggio (2004), sugerem que haja uma correlação linear entre os resultados de comprimento cravado do pino e resistência à compressão. Machado (2005), por outro lado, apresenta como melhor curva de correlação a de polinômio de 2º grau.

Evangelista (2002) verificou que na correlação entre resistência à compressão e profundidade de penetração de pinos, o fator que mais influencia é o tipo de cimento, e para diferentes tipos de cimento há tendências de correlações diferenciadas para um mesmo nível de resistência.

3.4 - MÉTODO DA MATURIDADE

Este método diferencia-se dos outros, porque o principal fator de influência é a temperatura. O conceito de maturidade foi estabelecido entre as décadas de 40 e 50, quando do surgimento de cura térmica em peças de concreto. Necessitava-se de um modelo matemático para estimar a influência da temperatura no desenvolvimento da

resistência à compressão do concreto. O conceito básico é que a resistência varia em função da idade e da temperatura do material (Pinto, 1997).

3.4.1 – O Método

A resistência do concreto é uma propriedade mecânica que se desenvolve como consequência das reações de hidratação do cimento. Como a maioria das reações químicas, a velocidade das reações de hidratação depende diretamente da temperatura. Quanto mais alta a temperatura do concreto, mais rapidamente ocorrem as reações de hidratação e como consequência, a pega do concreto acontece mais cedo e a resistência do concreto é maior nas primeiras idades. Fundamentalmente o conceito de maturidade está relacionado com desenvolvimento do grau de hidratação do cimento, e como consequência, além de estimar a resistência à compressão é possível, a princípio, avaliar qualquer propriedade mecânica ou física ligada ao grau de hidratação do cimento, entre elas a resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade (Pinto, 2000).

Saul (1951) afirmou que, para usar este conceito com a finalidade de estimar a resistência à compressão, deve-se assumir que, para uma composição específica, os concretos de mesma maturidade atingirão a mesma resistência, independente da combinação tempo-temperatura.

Segundo Pinto e Hover (2000), a utilização do método da maturidade considera que a temperatura do concreto é a única variável que afeta a taxa de ganho de resistência ao longo do tempo. A composição dos materiais, proporção da mistura, condições de umidade, ou outros fatores que possam influenciar o ganho de resistência não são levados em consideração. Relata ainda que, o conhecimento prévio do ganho de resistência com o tempo em pelo menos uma condição isotérmica para a utilização deste método faz-se necessário. Em quaisquer outras condições de temperatura, a resistência à compressão é estimada a partir de funções de maturidade que relacionam a temperatura do concreto e o tempo.

3.4.2 – Funções de Maturidade

Saul (1951) definiu maturidade como sendo o simples produto do tempo e temperatura do concreto, acima de uma temperatura de base, abaixo da qual as reações de hidratação cessariam, definida como sendo $-10,5^{\circ}\text{C}$.

A função de maturidade de Saul está expressa abaixo, e é conhecida como função de maturidade *Nurse-Saul*.

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t \quad \text{Equação 3.4}$$

onde:

M = grau de maturidade atingido no tempo t ,

T = temperatura do concreto durante o intervalo de tempo t ,

T_0 = temperatura de base;

Δt = incremento de tempo.

Rastrup (1954) introduziu o conceito de idade equivalente (t_e), indicando que um concreto atinge o mesmo grau de maturidade que atingiria caso tivesse sido mantido continuamente a uma temperatura de referência pelo tempo t_e . Normalmente é utilizada a temperatura de 20°C como referência, ou seja, calcula-se o tempo necessário para atingir um mesmo grau de maturidade que seria atingido a uma temperatura do concreto mantida a 20°C .

Com a introdução do conceito de idade equivalente, a função *Nurse-Saul* é modificada da seguinte forma:

$$t_e = \sum_0^t \frac{T - T_0}{T_r - T_0} \Delta t \quad \text{Equação 3.5}$$

onde:

t_e = idade equivalente na temperatura de referência T_r .

Segundo Carino (1991), pela equação 3.4 a maturidade varia linearmente com a temperatura. Sabe-se da cinética das reações químicas que a velocidade do processo

aumenta com a temperatura de forma exponencial, de acordo com a equação de *Arrhenius* (equação 3.6).

$$K = A * e^{(-E / R * T)} \quad \text{Equação 3.6}$$

onde:

K = constante de velocidade de hidratação, em $1/t$;

E = energia de ativação, em J/mol;

R = constante universal de gás (8,314 J/mol $^{\circ}$ K);

T = temperatura, em $^{\circ}$ K;

A = constante ou fator de frequência.

Arrhenius introduziu o conceito de energia de ativação em equações químicas. Numa reação química, as moléculas necessitam de uma quantidade mínima de energia cinética para transformarem-se de reagentes em produtos. No caso da hidratação do cimento, que é uma reação exotérmica, os reagentes estão em estado de energia superior aos dos produtos. A energia de ativação é então a diferença entre o nível de energia necessário para a ocorrência da reação e o nível de energia dos reagentes, ou seja, é a quantidade a mais de energia que os reagentes devem adquirir para dar início à reação. Em temperaturas elevadas, o número de moléculas que possuem energia cinética mínima é maior e, portanto mais produtos são formados e, por conseguinte a reação química se processa mais rapidamente. Quanto maior o E , mais energia cinética é necessária para o início da reação, mais a velocidade da reação é afetada pela temperatura (Pinto, 2000a).

O conceito energia aparente de ativação é mais apropriado no caso da hidratação do cimento, que é um material heterogêneo. Este conceito introduz um valor médio para a energia de ativação levando-se em conta as diversas reações de vários componentes do cimento (Pinto, 2000).

Freiesleben-Hansen e Pederson (1977) *apud* Pinto (2000), definiram uma função de maturidade a partir da relação entre as velocidades de hidratação do cimento na

temperatura desejada e na temperatura de referência T_r . Em idade equivalente, a função de maturidade de *FHP* é a seguinte:

$$t_e = \sum_0^t e \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \Delta t \quad \text{Equação 3.7}$$

onde:

E_a = energia aparente de ativação, em J/mol;

R = constante universal de gás (8,314 J/mol $^{\circ}$ K);

t_e = idade equivalente na temperatura de referência T_r , em dias ou horas;

T = temperatura absoluta do concreto no intervalo de tempo Δt , em $^{\circ}$ K;

T_r = temperatura de referência do concreto, em $^{\circ}$ K;

Δt = intervalo de tempo.

3.4.3 – Energia de Ativação

A obtenção da energia de ativação das reações de hidratação do cimento pode ser realizada através de experimentos calorimétricos, mecânicos, ou diretamente a partir da evolução, com o tempo e com a temperatura, de valores de água não evaporável. De maneira geral, a energia de ativação poderia ser obtida a partir do desenvolvimento de alguma propriedade que esteja relacionada com seu grau de hidratação.

Na aplicação do método da maturidade, através do procedimento indicado na ASTM C 1074 (1998), calcula-se a energia de ativação a partir da evolução da resistência à compressão em função da idade e temperatura do material. Este procedimento foi o adotado neste trabalho para a obtenção da energia de ativação do material utilizado.

Conforme apresentado por Pinto (2004a) através de experimentos realizados por outros pesquisadores, existe uma linearidade entre grau de hidratação e resistência à compressão. Com isso pode-se assumir que a evolução da hidratação do cimento a

uma certa temperatura pode ser dada pela evolução da resistência à compressão da mistura.

Pelo procedimento da ASTM C 1074 (1998), para a obtenção da energia aparente de ativação (E_a), é monitorada a evolução da resistência à compressão de argamassas curadas isotermicamente a pelo menos 3 temperaturas diferentes, com a taxa constante sendo obtida assumindo-se que o desenvolvimento da resistência à compressão com o tempo segue um comportamento hiperbólico linear conforme a equação 3.8. Obtêm-se uma estimativa da taxa constante k_t para cada temperatura e a partir da equação 3.6, a energia aparente de ativação (gráfico de *Arrhenius*), relacionando $\ln(k_t)$ com o inverso da temperatura ($1/T$). A inclinação da reta fornece o valor de energia aparente de ativação e a constante R .

$$f_c = f_{c\infty} \frac{k_t(t - t_0)}{1 + k_t(t - t_0)} \quad \text{Equação 3.8}$$

onde:

f_c – resistência à compressão na idade t ;

f_{c8} – resistência à compressão última;

k_t – taxa constante;

t – idade do concreto;

t_0 – idade em que se inicia o desenvolvimento de f_c .

O procedimento ASTM C 1074 (1998) sugere valores de E_a entre 40 a 50kJ/mol para cimento americano *tipo I*. Para cimentos nacionais, Pinto (2004b) apresentou uma coletânea de resultados na literatura, transcritos na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores de Energia Aparente de Ativação

Autor	Tipo de Cimento	E_a (kJ/mol)
BARBOSA <i>et al.</i> (2002)	CP II	41,7
	CP V	34,5
CARVALHO (2002)	CP II	31,6
	CP III	26,8
	CP II + 9% sílica ativa	33,5
PINTO <i>et al.</i> (2002)	CP V	50,1
PERES <i>et al.</i> (2003)	CP I	35,4
	CP II	31,4
	CP III	57,0
	CP IV	50,4
	CP V	29,0
PERES <i>et al.</i> (2004)	CP II + 8% sílica ativa	32,3
	CP II + 16% sílica ativa	34,8
SALVADOR FILHO (2001)	CP V	34,5
	CP V + 10% sílica ativa	41,9
	CP V + 20% sílica ativa	43,2

3.4.4 – Correlação entre Maturidade e Resistência à Compressão

Diversas funções matemáticas foram propostas para relacionar resistência à compressão e maturidade (Pinto, 1997). Como exemplo, Freiesleben-Hansen e Pederson (1977) apresentaram uma relação exponencial entre resistência e maturidade (equação 3.9), enquanto Carino e Lew (1983) um modelo hiperbólico (equação 3.7) e Carino (1991) posteriormente um modelo parabólico-hiperbólico (equação 3.8).

$$f_c = f_{c\infty} e^{-(\tau/M)^\alpha}$$

Equação 3.9

onde:

f_c = resistência à compressão na maturidade M ;

M = maturidade;

$f_{c\infty}$ = resistência numa maturidade infinita, resistência limite;

t = tempo constante;

a = parâmetro de forma.

$$f_c = f_{c\infty} \frac{k(t-t_0)}{1+k(t-t_0)} \quad \text{Equação 3.10}$$

$$f_c = f_{c\infty} \frac{\sqrt{k(t-t_0)}}{1+\sqrt{k(t-t_0)}} \quad \text{Equação 3.11}$$

onde:

f_c = resistência à compressão na maturidade M ;

t = idade do concreto;

t_0 = idade do concreto do qual inicia o desenvolvimento da resistência;

k = constante.

Ao pesquisar três modelos de curvas relacionando resistência e idade equivalente para temperatura de 20°C (hiperbólico e exponencial), Pinto (1997) usou a idade equivalente calculada pela função de maturidade de *FHP* e verificou que o modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos experimentalmente foi o hiperbólico.

3.4.5 – Vantagens e Limitações

O método da maturidade é utilizado para avaliação do tempo necessário para a desforma, aplicação de cargas de protensão ou cargas de construção, liberação do tráfego em pavimentos de concreto, entre outros (Pinto, 1997).

O monitoramento da temperatura do concreto é importante para o acompanhamento do desenvolvimento de sua resistência, especialmente no caso de construções em condições ambientais adversas que poderão influenciar as condições de cura do concreto (BS 1881: Part 201,1986 *apud* Evangelista, 2002).

Tem como limitações o fato de que as medições são pontuais dentro da estrutura. A correlação entre resistência e maturidade é diferente para cada composição e tipo de cura do concreto (Bungey, 1989). Para considerar variações internas do concreto, torna-se necessário uma grande quantidade de pontos a serem

investigados simultaneamente, elevando os custos do ensaio (BS 1881: Part 201, 1986 *apud* Evangelista, 2002).

3.4.6 – Aplicações

Uma aplicação do método pode ser no acompanhamento do desenvolvimento da resistência nas idades iniciais, visando a retirada de fôrmas e escoramentos de estruturas (Pinto *et al.*, 2002), especialmente em casos de concretagens em temperaturas baixas. Podemos citar como exemplo o trágico colapso após a desforma do concreto, ocorrido na torre de resfriamento *Willow Island*, nos EUA, que custou a vida de 51 pessoas, onde a resistência do concreto não se desenvolveu como esperado devido a baixas temperaturas após a concretagem.

Myers (2000) também citou a utilização do método para controle de qualidade de concretos de alto desempenho em tabuleiros de ponte.

Sistemas computadorizados foram desenvolvidos na Europa nos anos 80 e difundidos diversos tipos de medidores de maturidade internacionalmente, com aplicação na construção civil (Maage e Helland, 1988).

3.4.7 – Fatores que Influenciam os Resultados

Tipos de agregados, tipos de cimento e relação água/cimento, são os principais fatores que influenciam na relação entre resistência e maturidade (Neville, 1997).

Pinto (1997), alterando o tipo de agregado graúdo no concreto, verificou que não há uma influência significativa na relação entre resistência à compressão e idade equivalente.

3.5 – MÉTODOS COMBINADOS

Os métodos de ensaios não destrutivos combinados envolvem técnicas em que um método aumenta a confiabilidade e precisão dos resultados de um outro método utilizado em conjunto, na avaliação de propriedades do concreto como resistência e

módulo de elasticidade. Dentre as combinações conhecidas, a mais utilizada é o de ultra-som e esclerometria (Samarin, 2004).

A precisão da grandeza a ser avaliada é aumentada por métodos combinados pelo fato de que um método pode medir apenas uma única propriedade física do concreto (RILEM NDT4, 1993). Fatores que influenciam os métodos de maneira diferente, como é o fato da umidade que diminui o IE e aumenta a velocidade de propagação da onda ultra-sônica, podem ter seus efeitos minimizados na combinação destes métodos, aumentando a precisão da estimativa de resistência à compressão (Gonçalves, 1995 *apud* Evangelista, 2002).

3.5.1 – Método Combinado de Ultra-som e Esclerometria

Este método consiste em medir em conjunto a velocidade das ondas ultra-sônicas e índices esclerométricos. Considerando-se em conjunto as medições de velocidade das ondas ultra-sônicas e índices esclerométricos, empregando-se regressão múltipla na análise dos resultados, é possível reduzir o erro de estimativa da resistência à compressão do concreto (Gonçalves, 1995 *apud* Evangelista, 2002).

O método combinado de ultra-som e esclerometria é menos influenciado pela granulometria do agregado, teor de cimento e teor de umidade, do que os resultados do método de ultra-som somente. Porém, esta combinação não é recomendada quando há grandes diferenças de propriedades entre o concreto das camadas superficiais e das camadas mais profundas do elemento, devendo-se empregar somente o método de ultra-som (RILEM NDT4, 1993).

Segundo Samarin (2004), as limitações deste método são as mesmas dos métodos empregados isoladamente, porém, variações nas propriedades que causam efeitos opostos nos resultados de cada método podem ser minimizadas.

4 - PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 - INTRODUÇÃO

O planejamento experimental foi baseado na infra-estrutura disponível nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina, e visou alcançar os objetivos expostos neste estudo. Está dividido em duas etapas distintas:

- **1ª Etapa (laboratorial):** Para as correlações entre resistência à compressão e as grandezas medidas nos ensaios não destrutivos do concreto, foram utilizados concretos com resistências entre 20 e 30MPa usualmente empregados em obras na Grande Florianópolis.
- **2ª Etapa (em obra):** Com a finalidade de testar as curvas de correlação obtidas, ensaios foram executados *in loco*, em obras que utilizavam misturas de concreto com mesmos traços dos utilizados em laboratório.

Neste capítulo são caracterizados os materiais utilizados nos traços dos concretos da 1ª etapa deste programa experimental.

4.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Na composição dos concretos ensaiados foram utilizados cimento + agregados graúdos (brita 0 e brita 1) + agregados miúdos (areia fina e areia média artificial) + aditivo plastificante + água. Os materiais e os traços foram os mesmos utilizados pela central de concreto, com exceção da água.

4.2.1 – Cimento

O cimento utilizado foi o *CPIV-RS*. Sua massa específica é de 2,93g/cm³. A tabela 4.1 mostra os resultados dos ensaios físicos e químicos deste cimento, informados pelo fabricante.

Tabela 4.1 – Análise física e química do cimento *CPIV-RS*

Ensaio Físicos					
Ítem de Controle	Unidade	Média	Desvio	Mínimo	Máximo
Material retido #200	%	0,31	0,07	0,20	0,50
Material retido #325	%	2,90	0,58	1,30	3,80
Blaine	cm ² /g	4500	70	4370	4680
Água de consistência	%	29,51	0,22	29,00	29,90
Início de pega	horas	5:15	0:27	4:10	5:50
Fim de pega	horas	6:22	0:31	5:10	7:00
Expansibilidade a quente	mm	0,00	0,00	0,00	0,00
Resistência R1	MPa	-	-	-	-
Resistência R3	MPa	26,26	0,70	25,00	27,40
Resistência R7	MPa	30,67	0,78	29,60	32,50
Resistência R28	MPa	42,51	0,76	41,00	44,40
Ensaio Químicos					
Perda ao fogo	%	3,05	0,12	2,88	3,31
SiO ₂	%	28,68	2,05	18,48	29,77
Al ₂ O ₃	%	10,14	1,16	4,30	10,84
Fe ₂ O ₃	%	3,79	0,19	2,91	3,97
CaO	%	45,26	2,93	43,82	59,83
MgO	%	5,02	0,16	4,84	5,67
K ₂ O	%	1,36	0,09	0,91	1,42
Na ₂ O	%	0,20	0,01	0,13	0,21
SO ₃	%	2,56	0,18	2,40	3,43
Resíduo insolúvel	%	25,52	0,42	24,26	26,48
CO ₂	%	2,37	0,06	0,06	2,44

4.2.2 – Agregado Graúdo

Os agregados graúdos são: brita 0 e brita 1, de uso comum na região, ambos de origem granítica e provenientes de São José, SC.

Como foi citado anteriormente, diferentes tipos e dimensões de agregados graúdos influenciam nos resultados de avaliação do concreto por meio de ensaios não destrutivos. Os materiais disponíveis na região da Grande Florianópolis, utilizados pelas concreteiras, são de origem granítica e possuem características semelhantes (Paz, 1998). Portanto, não caberá a este estudo experimental testar outro tipo de agregado, por ser um estudo voltado a tipos de concretos usualmente empregados na região da Grande Florianópolis.

Os resultados da caracterização da brita 0 e brita 1 encontram-se nas tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

Tabela 4.2 – Caracterização do pedrisco (brita 0)

Composição Granulométrica (NBR 7217)			
Peneiras # mm	Peso (g)	% retida	% acumulada
19			
12,5			
9,5	1,68	0	0
6,3	498,25	31	31
4,8	535,18	33	64
2,4	504,14	31	95
1,2	57,06	4	99
0,6	3,7	0	"
0,3	2,58	0	"
0,15	2,19	0	"
Fundo	8,57	1	100
Total	1613,25	100	
Módulo de finura		5,55	
Diâmetro máximo		9,5 mm	
Massa Específica		2,62 kg/dm ³	
Material pulverulento		2,60%	
Massa unitária		1,42 kg/dm ³	
Classificação		Não se enquadra nos limites da NBR	

Tabela 4.3 – Caracterização da brita 1

Composição Granulométrica (NBR 7217)			
Peneiras # mm	Peso (g)	% retida	% acumulada
38			
32			
25			
19	260	3	3
12,5	5975	67	70
9,5	1885	21	91
6,3	720	8	99
4,8	50	1	100
2,4	-	-	-
1,2	-	-	-
Fundo	20	0	100
Total	8920	100	
Módulo de finura		6,86	
Diâmetro máximo		25 mm	
Massa Específica		2,68 kg/dm ³	
Material pulverulento		3,34%	
Massa unitária		1,44 kg/dm ³	
Classificação		Graduação 1	

4.2.3 – Agregado Miúdo

A areia fina utilizada é proveniente da cidade de Palhoça, SC. A areia média é industrializada (de britagem) e é proveniente da cidade de São José, SC. Os resultados da caracterização da areia fina e areia artificial encontram-se nas tabelas 4.4 e 4.5, respectivamente.

Tabela 4.4 – Caracterização da areia fina

Composição Granulométrica (NBR NM 248)			
Peneiras # mm	Peso (g)	% retida	% acumulada
9,5			
6,3			
4,8			
2,4			
1,2	0,4	0	0
0,6	2,03	0	0
0,3	27,5	3	3
0,15	283,85	30	33
Fundo	630,8	67	100
Total	944,58	100	
Módulo de finura		0,36	
Diâmetro máximo		0,3 mm	
Massa Específica		2,63 kg/dm ³	
Argila de torrões		0,40%	
Material pulverulento		1,05%	
Matéria orgânica		< 300 ppm	
Massa unitária		1,36 kg/dm ³	
Classificação		Não se enquadra nos limites da NBR	

Tabela 4.5 – Caracterização da areia artificial

Composição Granulométrica (NBR NM 248)			
Peneiras # mm	Peso (g)	% retida	% acumulada
9,5			
6,3	1,6	0	0
4,8	2,25	0	0
2,4	102,05	12	12
1,2	193,94	35	47
0,6	136,33	16	63
0,3	128,14	15	78
0,15	89,07	10	88
Fundo	97,27	12	100
Total	850,65	100	
Módulo de finura		2,88	
Diâmetro máximo		4,8 mm	
Massa Específica		2,66 kg/dm ³	
Material pulverulento		5,34%	
Matéria orgânica		< 300 ppm	
Massa unitária		1,48 kg/dm ³	
Classificação		Não se enquadra nos limites da NBR	

4.2.4 – Aditivo

O aditivo utilizado foi o *WRDATM 38*, redutor de água da *GRACE Construction Products*. A dosagem recomendada é de 0,25% a 0,40%, com relação a massa de cimento. Sua massa específica é de 1,18kg/litro.

4.2.5 – Água

A água utilizada foi proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Florianópolis.

4.2.6 – Composição dos Concretos Ensaados

A tabela 4.6 mostra os diferentes traços de concreto utilizados neste programa experimental.

Tabela 4.6 – Composições por m³ de concreto

Materiais	fck (<i>slump</i> 10±2 cm)		
	20 MPa	25 MPa	30 MPa
Cimento (kg)	273	308	344
Areia fina (kg)	305	293	282
Areia artificial (kg)	566	544	523
Brita 0 (kg)	233	234	234
Brita 1 (kg)	699	701	701
Água (l)	195	195	195
Aditivo (l)	0,956	1,078	1,204

4.3 - 1ª ETAPA: LABORATÓRIO

Os métodos não destrutivos para avaliação da resistência à compressão empregados no programa experimental foram: velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, resistência à penetração de pinos, esclerometria e maturidade.

Foram preparadas três misturas de concretos com resistências características à compressão diferentes, utilizados em obras da Grande Florianópolis. Os traços e materiais para a confecção dos corpos-de-prova foram cedidos por uma concreteira da região metropolitana, localizada no município de São José. As resistências características de concreto utilizadas foram de 20, 25 e 30MPa, traços usuais da concreteira.

Um total de 33 corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões 10x20cm, foram moldados para cada resistência característica (20, 25 e 30MPa). 5 prismas 15x20x60cm e uma laje 15x70x70cm foram moldados para a mistura de concreto 20MPa e 2 prismas 15x20x60cm para as misturas de 25 e 30MPa. O ensaio de penetração de pinos, que foi realizado somente na mistura de concreto 20MPa, requer uma área de superfície maior para a execução das penetrações, por isso um número maior de corpos-de-prova prismáticos e a laje.

Os CP cilíndricos foram utilizados para medições de ultra-som, esclerometria e resistência à compressão, enquanto que os prismas e lajes para medições de ultra-som, esclerometria e penetração de pinos.

Monitorou-se a temperatura de alguns corpos-de-prova cilíndricos para aplicação do método de maturidade.

Todos os corpos-de-prova permaneceram no laboratório cobertos com lona plástica por um período de 1 dia, após o qual procedeu-se a desmoldagem. Dos 33 CP cilíndricos, 15 foram colocados em tanque submersos com água, sofrendo cura úmida. Outros 15 permaneceram em ambiente do laboratório, submetidos a cura ao ar. Os 3 restantes foram ensaiados na ocasião da desmoldagem. Os 5 prismas de concreto 20MPa foram submetidos a cura com água, da mesma forma que os cilindros, enquanto que a laje foi submetida a cura ao ar. Os prismas de concreto 25 e 30MPa foram divididos em um para cura ao ar e outro para cura úmida. A tabela 4.7 apresenta o número de corpos-de-prova e os processos de cura adotados.

Tabela 4.7 – Corpos-de-prova e processos de cura adotados

Concreto	Corpo-de-prova	Cura ao ar	Cura úmida
20 MPa	Cilindros	18	15
	Prismas	-	5
	Laje	1	-
25 MPa	Cilindros	18	15
	Prismas	1	1
30 MPa	Cilindros	18	15
	Prismas	1	1

Ensaio de resistência à compressão, esclerometria e ultra-som foram executados aos 1, 3, 7, 14, 28 e 90 dias de idade do concreto, nos diferentes tipos de cura.

Para aplicação do método da maturidade, foram realizados ensaios à compressão em corpos-de-prova cúbicos de argamassa de 5x5x5cm, ensaiados a 3 temperaturas de cura distintas. O item 4.3.5 descreve detalhadamente estes ensaios.

A seguir estão descritos os procedimentos dos ensaios realizados em corpos-de-prova de 1ª etapa deste programa experimental.

4.3.1 – Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram executados nos corpos-de-prova cilíndricos de 10x20cm, na prensa *Shimadzu* do *LMCC* do Departamento de Engenharia Civil da *UFSC*, com capacidade de carga de 1.000KN (figura 4.1), e realizados de acordo com a NBR 5739 (1980). Os mesmos receberam uma fina camada de enxofre como capeamento das faces superiores e inferiores. Para cada idade e tipo de cura foi obtida a média de resistência de 3 corpos-de-prova. Nestes mesmos corpos-de-prova foram primeiramente feitos os ensaios de ultra-som e esclerometria.



Figura 4.1 - Ensaio de resistência à compressão

4.3.2 – Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas

O ensaio foi executado utilizando-se o equipamento *PUNDIT*. Transdutores com frequência de 54kHz foram utilizados nos ensaios da laje e prismas, enquanto que para os corpos-de-prova cilíndricos, por possuírem menores dimensões, foram utilizados transdutores com frequência de 200kHz. Vaselina foi usada como acoplante entre as faces dos transdutores e do material.

Foram utilizados 3 corpos-de-prova cilíndricos para cada idade, resistência e método de cura (ao ar e úmida). A transmissão da onda ultra-sônica foi direta através do comprimento da peça, e cada peça teve 2 leituras com o ultra-som (figura 4.2).

Foram verificadas as medidas exatas de comprimento de cada corpo-de-prova para posterior cálculo da velocidade da onda no concreto.



Figura 4.2 – Aplicação do ultra-som em corpos-de-prova cilíndricos no modo direto

Na laje (concreto 20MPa com cura ao ar) e nos prismas (20MPa cura úmida, 25 e 30MPa cura úmida e cura ao ar) foi utilizada a transmissão direta da onda ultrassônica ao longo das peças, e indireta na face superior, onde um transdutor era fixado em um ponto a uma distância de 10 cm da face, com o outro se deslocando de 10 cm do anterior, totalizando 4 pontos no prisma e 5 pontos na laje (figura 4.3). Os prismas que estavam em cura úmida eram retirados da água momentos antes da realização dos ensaios e, com o auxílio de papel toalha, era retirado o excesso de água da superfície.



Figura 4.3 - Aplicação do ultra-som nos prismas no modo indireto

A figura 4.4 apresenta esquematicamente os pontos de colocação dos transdutores para o ensaio indireto nos prismas.

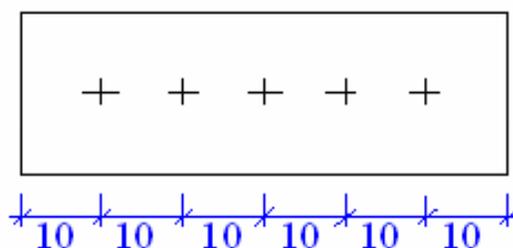


Figura 4.4 - Esquema de transmissão indireta do ultra-som na face superior dos prismas

Os ensaios com ultra-som (assim como os ensaios de esclerometria) foram realizados sempre nos mesmos prismas e laje nas diferentes idades, ou seja, a peça era ensaiada e voltava ao seu local de cura para posterior ensaio, até aos 90 dias. Este procedimento não foi o mesmo para os corpos-de-prova cilíndricos, que eram utilizados para testar a resistência à compressão depois de realizados os ensaios não destrutivos. Foram ensaiados prismas diferentes por idade na mistura de 20MPa e cura úmida, pois estes eram ensaiados com penetração de pinos, impossibilitando novas leituras com ultra-som e esclerometria.

4.3.3 – Índice Esclerométrico

O esclerômetro utilizado foi o da marca *Schmidt Hammer* tipo *NR* com energia de percussão de 2,207Nm. Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 7584 (1995). Para os corpos-de-prova cilíndricos, em cada resistência foram testados 3 corpos-de-prova para cada idade e cura diferentes. Foi utilizada uma pedra abrasiva para regularizar a superfície do concreto nos lugares de aplicação do esclerômetro, caso fosse necessário.

Nos corpos-de-prova cilíndricos, 9 leituras foram realizadas na posição horizontal, distribuídas uniformemente na superfície. Durante os ensaios, os corpos-de-prova foram fixados entre os pratos da prensa sob uma tensão de 1MPa (de acordo com RILEM NDT 3, 1984), segundo mostra a figura 4.5.

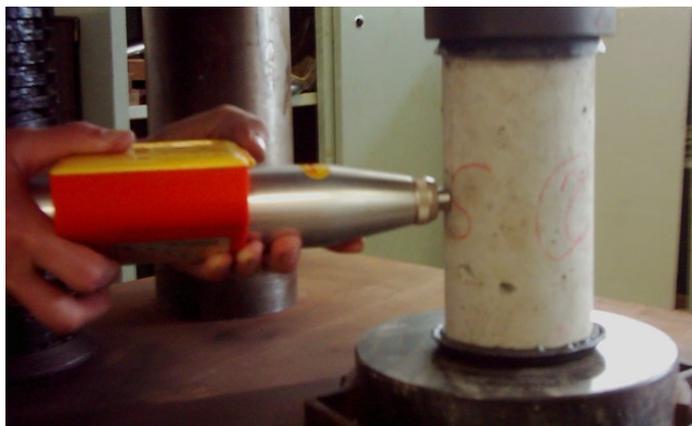


Figura 4.5 – Esclerometria na face lateral do corpo-de-prova cilíndrico

Para cada prisma e laje, foram realizados 10 leituras na face superior, nas diversas idades, resistências e processos de cura estipulados (figura 4.6). Os prismas que foram utilizados para cura úmida eram retirados da água momentos antes da realização dos ensaios e, com o auxílio de papel toalha, o excesso de água da superfície dos mesmos era retirado.



Figura 4.6 – Esclerometria na face superior de prismas e laje

4.3.4 – Penetração de Pinos

Para a execução deste ensaio, foram utilizados pistola, pinos de 55mm e cartuchos, todos da marca *Walsywa* (figura 4.7), conforme proposto por Vieira (1978). Os disparos foram realizados nos prismas e laje com mistura de concreto de 20MPa,

sendo efetuados 10 disparos por idade nos prismas (cura úmida) e 14 disparos por idade na laje (cura ao ar).



Figura 4.7 – Execução do ensaio de penetração de pinos

Os comprimentos dos pinos eram avaliados 2 vezes antes dos disparos com paquímetro (precisão de 0,01mm) e calculada a média. Os cartuchos eram pesados antes e após os disparos (precisão de 0,001g), com a finalidade de verificar eventual diferença da massa entre os diversos cartuchos, que pudesse influenciar a profundidade de penetração dos pinos.

Pinos e cartuchos eram fixos em um gabarito de madeira, no qual eram colocados em ordem, impedindo que fossem misturados durante o ensaio, auxiliando na posterior comparação entre massas dos cartuchos e comprimentos dos pinos. Na figura 4.8 estão dispostos os pinos, cartuchos, pistola e laje ensaiada.



Figura 4.8 – Equipamento utilizado no ensaio de penetração de pinos

Após os disparos, eram realizadas 2 leituras do comprimento externo de cada pino cravado. Pelo fato de que ao redor do pino, após o disparo, o concreto fica fraturado superficialmente, utilizou-se um gabarito para auxiliar na medição do

paquímetro, que consistia numa pequena chapa de madeira com um pequeno furo, por onde se passava o pino a ser medido. A profundidade de penetração do pino no concreto é o comprimento total do pino, menos o comprimento externo medido do pino cravado, mais a espessura do gabarito utilizado.

4.3.5 – Maturidade

4.3.5.1 – Monitoramento da Temperatura

Para o monitoramento da temperatura, foram utilizados termopares, ligados a um sistema de aquisição de dados, imersos no concreto de corpos-de-prova cilíndricos desde a concretagem. Os corpos-de-prova monitorados permaneceram no mesmo ambiente que os corpos-de-prova colocados na cura ao ar durante todo o processo.

No concreto de 20MPa, o sistema de aquisição de dados foi mantido até 28 dias após a concretagem. Em paralelo, foram monitoradas a temperatura ambiente para os concretos deixados na cura ao ar e a temperatura da água onde foram deixados os corpos-de-prova para cura úmida.

Nos concretos de 25 e 30MPa, o sistema de aquisição de dados foi mantido durante as primeiras 24 horas após a concretagem. Depois disso, foi monitorada a temperatura ambiente onde se encontravam os corpos-de-prova para cura ao ar, e a temperatura da água onde foram deixados os corpos-de-prova na cura úmida, até 28 dias após a concretagem.

4.3.5.2 – Energia de Ativação (E_a)

Para a verificação da energia de ativação dos diferentes concretos, foram seguidas as recomendações da ASTM C 1074 (1998).

Corpos-de-prova cúbicos de argamassa de 5x5x5cm foram moldados, segundo ASTM C 33, utilizando-se os traços da mistura de concreto mantendo-se a relação a/c , e a relação agregado graúdo/cimento no concreto substituída pela relação agregado miúdo/cimento, conforme procedimento ASTM C 1074 (1998).

Após confecção dos corpos-de-prova, os moldes eram envoltos por filme de PVC até a desforma, evitando a perda de água da argamassa ao ambiente de cura (figura 4.9).



Figura 4.9 – Moldagem dos corpos-de-prova cúbicos para ensaios de E_a

Foram ensaiados 3 corpos-de-prova por idade e diferentes temperaturas. A primeira idade de ensaio à compressão ocorreu quando o corpo-de-prova atingia uma resistência em torno de 4MPa, as idades seguintes eram sempre o dobro de tempo da anterior, até atingirem 6 idades diferentes (figura 4.10).



Figura 4.10 – Ensaio à compressão dos corpos-de-prova cúbicos para E_a

Para cada nível de resistência (20, 25 e 30MPa), os corpos-de-prova foram colocados para cura em ambientes diferentes de temperatura: 13°C, 30°C e 50°C.

Para manter a temperatura em 13°C foi resfriado o interior de uma caixa de isopor através da circulação de água. A água era bombeada do interior da caixa para uma serpentina no interior de uma geladeira, a qual retornava resfriada para a caixa.

Um termostato que monitorava a temperatura da água no interior da caixa, acionava o bombeamento para circulação da água pela serpentina sempre que a temperatura passasse dos 13°C. Os corpos-de-prova ficavam submersos na água no interior da caixa.

Para manter a temperatura em 30°C e 50°C foi preciso aquecer a água no interior de caixas de isopor. O aquecimento ocorria através do acionamento de aquecedores de água controlados por termostatos que monitoravam a temperatura da água no interior das caixas. Sempre que a temperatura caía os aquecedores eram acionados até atingir novamente a temperatura pré-programada de 30 ou 50°C. Os corpos-de-prova eram deixados submersos na água no interior das caixas.

Para cada temperatura e nível de resistência diferente, eram moldados e ensaiados 18 corpos-de-prova.

4.4 - 2ª ETAPA: EM OBRA

Inicialmente tinha-se a intenção de testar os diferentes tipos de concreto em obras da Grande Florianópolis. Estas obras deveriam utilizar concretos com os mesmos traços estudados laboratorialmente, da mesma concreteira em questão.

Ao entrar em contato com os diversos responsáveis de diversas obras, nem todos demonstraram o interesse necessário para a realização do trabalho. Com isso foram firmadas parcerias com apenas duas empresas construtoras da região e ambas utilizavam o concreto de 30MPa em suas obras, que é um dos traços de interesse da pesquisa.

As obras localizavam-se uma no centro de Florianópolis, Obra 01, outra no bairro Estreito, parte continental da cidade, Obra 02. Ambas obras são edificações para uso residencial de vários pavimentos. A Obra 01 encontrava-se na etapa de execução de seu 2º pavimento, enquanto que a Obra 02, no 11º pavimento.

A concreteira que forneceu o concreto possui duas centrais na Grande Florianópolis, os traços e materiais utilizados são os mesmos. A Central 01 forneceu concreto para a Obra 01 e a Central 02 para a Obra 02.

Nas Obras foram moldados 6 corpos-de-prova cilíndricos 10x20cm durante uma das concretagens, os quais foram testados à compressão, esclerometria, ultra-som e monitorada a temperatura. Ainda foram instalados equipamentos de monitoramento da temperatura nas estruturas. Foram escolhidos 2 pilares em cada uma destas obras para que fossem feitos os ensaios não destrutivos, e os corpos-de-prova foram colocados próximos aos pilares (figura 4.11).



Figura 4.11 – Corpos-de-prova cilíndricos e pilar durante a concretagem

Na obra 01, escolheu-se um pilar no centro da estrutura (Pilar 01), com dimensões de 33x100cm e um outro pilar na parte lateral da estrutura com dimensões de 25x100cm (Pilar 02). Já na Obra 02, ambos pilares (Pilares 01 e 02) eram no centro da edificação, com dimensões de 20x100cm.

Os pilares foram ensaiados com ultra-som e esclerometria aos 7, 14, 21 e 28 dias. Os corpos-de-prova cilíndricos ensaiados à compressão aos 7 e 28 dias. Ainda foram ensaiados corpos-de-prova cilíndricos, do controle de qualidade da concreteira, aos 28 dias.

Os ensaios com os corpos-de-prova com idade de 7 dias, foram ensaiados nos laboratórios na UFSC, enquanto que aos 28 dias, foram levados para serem ensaiados

nas dependências das concreteiras juntamente com os corpos-de-prova moldados por elas.

4.4.1 – Resistência à Compressão

Dos 6 corpos-de-prova cilíndricos moldados nas Obras 01 e 02, 3 foram ensaiados à compressão aos 7 dias de idade, data de retirada das fôrmas dos pilares e laterais de vigas, enquanto que os outros 3 foram ensaiados aos 28 dias, idade em que as escoras das lajes e fundos de vigas já haviam sido retiradas. Aos 28 dias também foram ensaiados à compressão os CP moldados pela concreteira para controle tecnológico.

4.4.2 – Ultra-som

Foram feitas 5 leituras em cada pilar com o aparelho de ultra-som. O método de propagação da onda utilizado foi o direto e aplicado na menor espessura dos pilares. Os pontos de leituras foram distribuídos uniformemente em uma área de 60x60cm na face dos pilares, distante no mínimo 20cm das bordas. Foi utilizada vaselina como acoplante entre as faces dos transdutores e do concreto dos pilares (figura 4.12).



Figura 4.12 – Utilização do ultra-som em estruturas de concreto in loco

Nos corpos-de-prova cilíndricos moldados *in loco* e nos da concreteira, também foram executados os ensaios com ultra-som nas idades de 7 e 28 dias, com os mesmos procedimentos utilizados nos CP cilíndricos em laboratório.

4.4.3 – Índice Esclerométrico

Em cada pilar foram 16 leituras com o esclerômetro, próximos aos pontos em que foi utilizado o ultra-som, conforme mostra a figura 4.13.

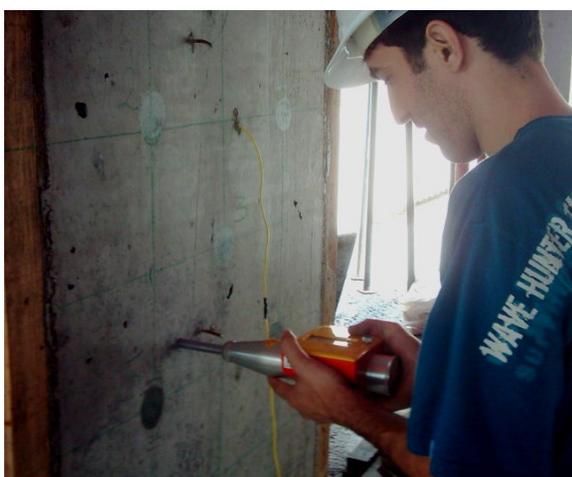


Figura 4.13 – Aplicação do esclerômetro em estruturas de concreto *in loco*

Nos corpos-de-prova cilíndricos moldados *in loco*, e nos da concreteira, foram executados também os ensaios com o esclerômetro, nas idades de 7 e 28 dias, com os mesmos procedimentos utilizados nos CP cilíndricos em laboratório. Como exceção, não foi possível fazer o ensaio de esclerometria nos CP da Obra 02 aos 28 dias, pois a prensa utilizada na Central 02 de concreto não permitia manter a carga de 1MPa para que o ensaio fosse executado nos corpos-de-prova.

4.4.4 – Monitoramento da Temperatura

Foram instalados termopares para monitoramento da temperatura do concreto nos Pilares 01, das Obras 01 e 02, em dois pontos distintos: um na parte inferior do pilar, a aproximadamente 50cm do topo da laje, e outro na meia altura do pilar,

aproximadamente 1,30m do topo da laje. Também um CP cilíndrico de concreto recebeu um termopar, enquanto que um quarto termopar monitorava a temperatura ambiente em cada obra.

Na Obra 01, a temperatura foi monitorada até aos 21 dias, pela impossibilidade da permanência dos aparelhos devido ao avanço da obra. Já na Obra 02, foi possível o monitoramento até aos 28 dias, porém, o aparelho que estava monitorando os dois pontos no concreto do pilar apresentou problemas, com leituras incorretas de temperatura.

Os *dataloggers* utilizados foram programados para o tipo de termopar diferente do utilizado nas obras, tornando necessário a calibração dos aparelhos para utilização dos dados coletados.

Os corpos-de-prova da concreteira foram mantidos no pátio da mesma, submersos em água a uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até a idade de 28 dias.

5 - RESULTADOS OBTIDOS

A seguir estão apresentados os resultados de ensaios à compressão dos corpos-de-prova e os resultados de ensaios não destrutivos da 1ª e 2ª etapa deste programa experimental.

Para facilitar a apresentação, foi adotada uma nomenclatura especial para cada tipo de concreto estudado, conforme apresentado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Nomenclatura adotada aos concretos deste programa experimental

L-20a	Concreto 20MPa confeccionado em laboratório com cura ao ar
L-20b	Concreto 20MPa confeccionado em laboratório com cura úmida
L-25a	Concreto 25MPa confeccionado em laboratório com cura ao ar
L-25b	Concreto 25MPa confeccionado em laboratório com cura úmida
L-30a	Concreto 30MPa confeccionado em laboratório com cura ao ar
L-30b	Concreto 30MPa confeccionado em laboratório com cura úmida
E01-30	Concreto 30MPa aplicado na Obra 01
E02-30	Concreto 30MPa aplicado na Obra 02
E01-P01	Pilar 01 da Obra 01
E01-P02	Pilar 02 da Obra 01
E02-P01	Pilar 01 da Obra 02
E02-P02	Pilar 02 da Obra 02
C01	Corpos-de-prova de controle tecnológico da Central 01
C02	Corpos-de-prova de controle tecnológico da Central 02

A tabela 5.2 apresenta a nomenclatura adotada para ensaios de ultra-som e esclerometria, conforme o tipo de transmissão da onda ultra-sônica e posição do esclerômetro nas peças de concreto.

Tabela 5.2 – Nomenclatura adotada para ensaios de ultra-som e esclerometria

UCD	Corpo-de-prova cilíndrico - transmissão direta da onda ultra-sônica
UPD	Corpo-de-prova prismático - transmissão direta da onda ultra-sônica
UPI	Corpo-de-prova prismático - transmissão indireta da onda ultra-sônica
EPV	Esclerometria em corpos-de-prova prismáticos na posição vertical
ECH	Esclerometria em corpos-de-prova cilíndricos na posição horizontal

5.1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão dos concretos moldados em laboratório foi obtida aos 1, 3, 7, 14, 28 e 90 dias, enquanto que para os moldados nas Obras 01 e 02, aos 7 e 28 dias, a partir da média dos resultados de 3 corpos-de-prova cilíndricos. Na tabela 5.3 encontram-se os resultados de f_c para todos os concretos, das etapas 1 e 2.

Tabela 5.3 - Resultados de f_c para todos os concretos

Concreto	Idade (dias)					
	$f_{c,1}$ (MPa)	$f_{c,3}$ (MPa)	$f_{c,7}$ (MPa)	$f_{c,14}$ (MPa)	$f_{c,28}$ (MPa)	$f_{c,90}$ (MPa)
L-20a	5,5	13,1	17,6	20,3	21,2	25,6
L-25a	7,4	16,8	21,6	24,1	27,0	39,1
L-30a	8,3	21,3	25,2	31,4	33,0	42,9
L-20b		13,8	17,6	19,9	22,9	30,6
L-25b		18,2	23,7	27,2	31,8	40,3
L-30b		21,5	25,3	31,5	36,2	44,7
E01-30			22,7		34,0	
E02-30			17,0		31,7	
C01					34,3	
C02					32,2	

As figuras 5.1 a 5.3 apresentam o desenvolvimento da resistência à compressão ao longo do tempo para os concretos nas diferentes resistências características e processos de cura utilizados. A cura úmida apresentou uma influência positiva na evolução da resistência à compressão em todas as misturas de concreto, embora não semelhantes. O concreto com cura úmida de 20MPa apresentou um ganho de 19% na resistência à compressão aos 90 dias, enquanto que para os concretos 25 e 30MPa, 3% e 4% respectivamente. Durante o ensaio, a umidade era a mesma para todos os tipos de misturas.

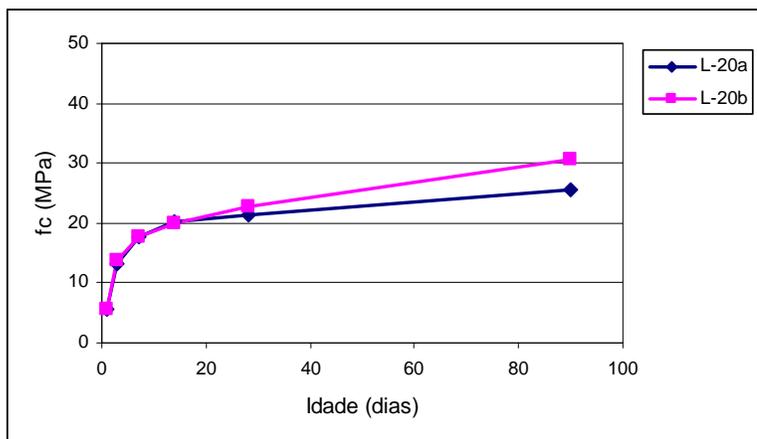


Figura 5.1 - Variação de f_c com o tempo para concreto 20MPa

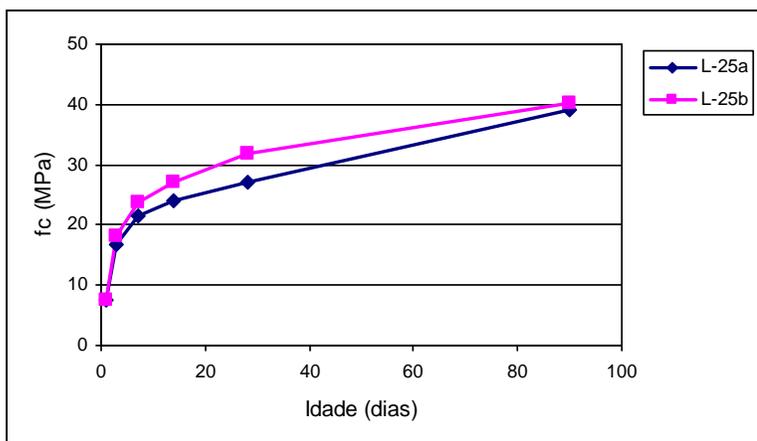


Figura 5.2 - Variação de f_c com o tempo para concreto 25MPa

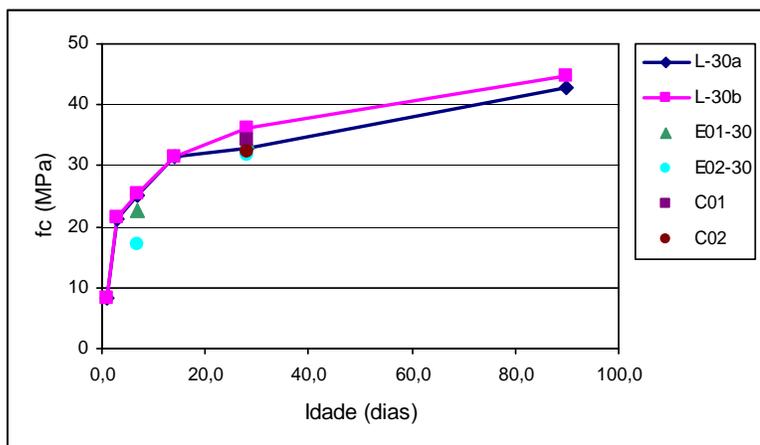


Figura 5.3 - Variação de f_c com o tempo para concretos 30MPa

5.2 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (V) foi obtida em laboratório nas idades de 1, 3, 7, 14, 28 e 90 dias. *In loco*, nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Quando executado em corpos-de-prova cilíndricos, fez-se a média de 3 deles para cada idade, com exceção dos corpos-de-prova da concreteira, com média de 2 para a idade de 28 dias. Para os corpos-de-prova prismáticos de concreto 20MPa cura úmida, foram utilizados prismas diferentes para cada idade. Nos concretos 25 e 30MPa, cura ao ar e úmida, e 20MPa cura ao ar, utilizou-se sempre o mesmo corpo-de-prova prismático para leituras de velocidade em todas as idades. Nas obras, foi calculada a velocidade média das leituras para cada pilar ensaiado. Na tabela 5.4 encontram-se os resultados de V para todos os corpos-de-prova e pilares ensaiados.

Tabela 5.4 - Resultados de V para todos os concretos

Concretos		Idade (dias)						
		V ₁ (m/s)	V ₃ (m/s)	V ₇ (m/s)	V ₁₄ (m/s)	V ₂₁ (m/s)	V ₂₈ (m/s)	V ₉₀ (m/s)
UCD	L-20a	3725	4001	4261	4164		4300	4298
	L-25a	3635	3965	4309	4328		4526	4486
	L-30a	3696	4345	4485	4532		4875	4657
	L-20b		4500	4580	4879		4772	4950
	L-25b		4197	4678	4709		4751	4769
	L-30b		4714	4795	4732		5211	5019
UPD	L-20a	3451	3809	3954	4028		4108	4228
	L-25a	3739	3944	4109	4178		4291	4378
	L-30a	3613	4016	4113	4229		4282	4381
	L-20b		4121	4371	4499		4609	4697
	L-25b		4059	4345	4404		4460	4584
	L-30b		4351	4412	4516		4577	4655
UPI	L-20a	3112	3352	3750	3816		3775	4000
	L-25a	3563	3615	3725	3768		3789	4000
	L-30a	3313	3624	3751	3624		3751	3937
	L-20b		3670	3971	3993		4144	4317
	L-25b		3863	4153	4165		4164	4317
	L-30b		4032	4051	4163		4476	4069
E01-30	CPD			4346			4634	
	P01			4047	4130	4193	4254	
	P02			4005	4179	4226	4280	
E02-30	CPD			4300			4522	
	P01			4205	4296	4286	4356	
	P02			4305	4397	4411	4437	
C01							4639	
C02							4642	

As figuras 5.4 a 5.7 apresentam a evolução da velocidade da onda ultra-sônica V com o tempo, com aplicação direta e indireta nos diferentes concretos em diferentes curas. Entre os resultados obtidos verifica-se que, em todos os casos as velocidades foram maiores para concretos deixados na cura úmida. Verifica-se também que os maiores valores de velocidade foram encontrados nas leituras diretas em corpos-de-prova cilíndricos, e os menores com leituras indiretas nos prismas.

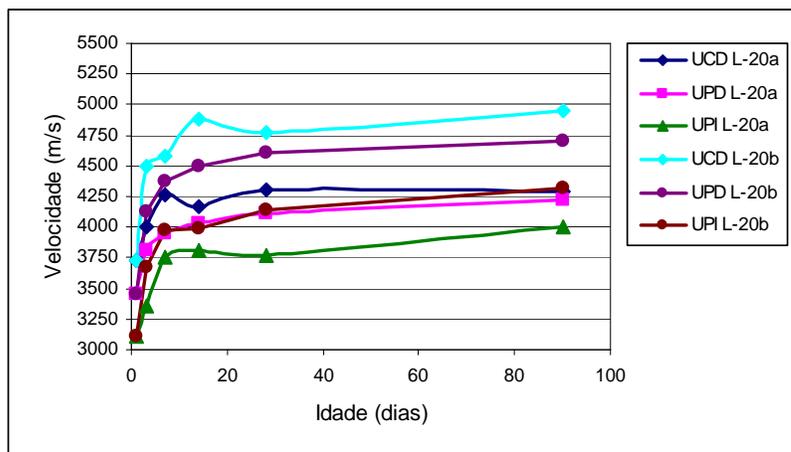


Figura 5.4 - Variação de V com o tempo para concreto 20MPa

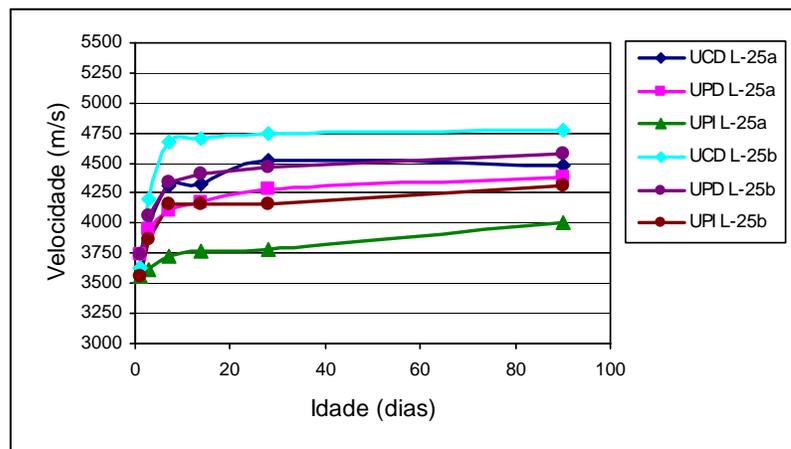


Figura 5.5 - Variação de V com o tempo para concreto 25MPa

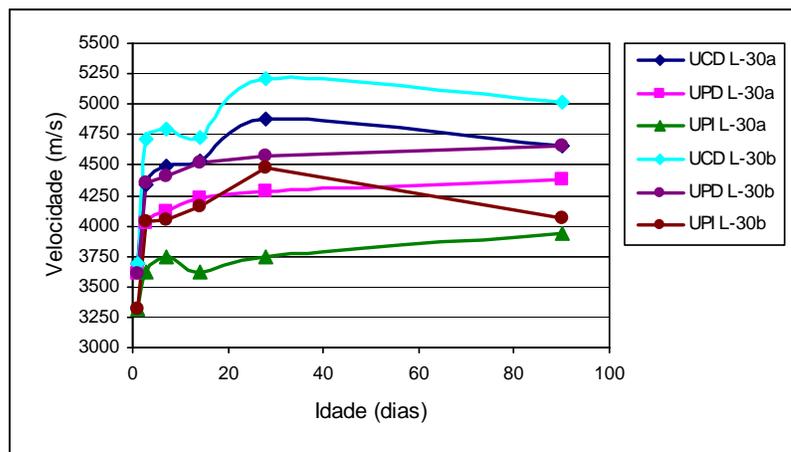


Figura 5.6 - Variação de V com o tempo para concreto 30MPa

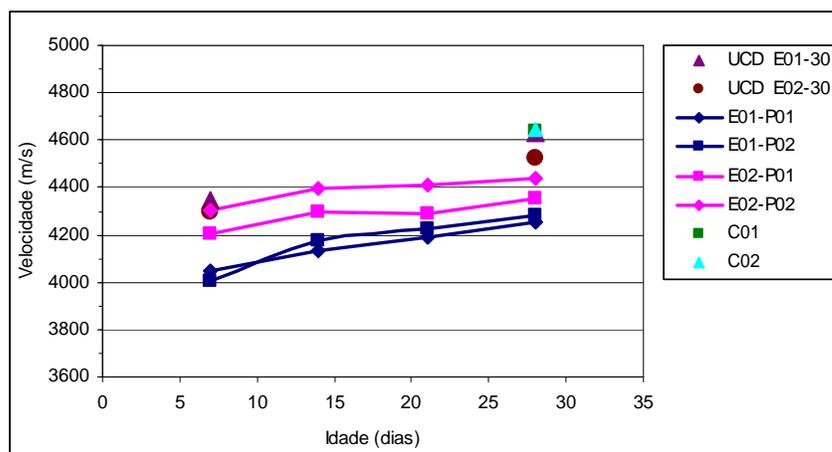


Figura 5.7 - Variação de V com o tempo para concreto *in loco*

5.3 – ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO

Os valores de índices esclerométricos (IE) foram obtidos nas idades de 1, 3, 7, 14, 28 e 90 dias, utilizando-se somente os valores que estão de acordo com a norma. *In loco*, nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Dos ensaios executados em corpos-de-prova cilíndricos, fez-se a média de 3 deles para cada idade, com exceção dos corpos-de-prova da concreteira, com média de 2 para a idade de 28 dias. Para os corpos-de-prova prismáticos de concreto 20MPa cura úmida, foram utilizados prismas diferentes para cada idade. Nos concretos 25 e 30MPa, cura ao ar e úmida, e 20MPa cura ao ar, utilizou-se sempre o mesmo corpo-de-prova prismático para leituras de esclerometria em todas as idades. Dos ensaios das obras, foi calculado o IE médio de cada pilar. Na tabela 5.5 encontram-se os resultados de IE para todos os corpos-de-prova e pilares ensaiados.

Tabela 5.5 - Resultados de IE para todos os concretos

Concretos		Idade (dias)						
		IE_1	IE_3	IE_7	IE_{14}	IE_{21}	IE_{28}	IE_{90}
ECH	L-20a		23,6	25,8	26,4		28,7	30,5
	L-25a		22,7	25,3	27,7		29,3	33,4
	L-30a	17,1	22,1	25,3	26,3		30,8	32,3
	L-20b		19,1	19,2	19,8		20,6	21,5
	L-25b		19,4	22,5	23,0		24,2	30,1
	L-30b		22,5	22,9	24,8		29,8	30,4
EPV	L-20a		20,4	23,8	24,3		28,8	31,0
	L-25a		19,4	26,6	27,8		29,8	33,0
	L-30a	16,0	23,8	25,5	27,7		28,9	35,0
	L-20b		16,6	16,9	20,5		18,5	22,0
	L-25b		19,1	19,6	22,3		22,6	26,7
	L-30b		19,6	25,3	28,1		28,7	29,9
E01-30	EH			25,5			31,5	
	P01			28,4	32,3	34	34,3	
	P02			31,6	32,1	32,3	34,2	
E02-30	EH			21,8				
	P01			25,7	30,3	31,3	31,9	
	P02			29,5	30,8	31,2	34,4	
C01							29,1	
C02								

As figuras 5.8 a 5.11 apresentam a variação dos índices esclerométricos com o tempo. Ao observar tais figuras percebe-se que os IE para os concretos deixados em cura úmida foram menores do que os deixados em cura ao ar. Para o concreto de 30MPa esta diferença foi bem menor, apresentando valores muito próximos.

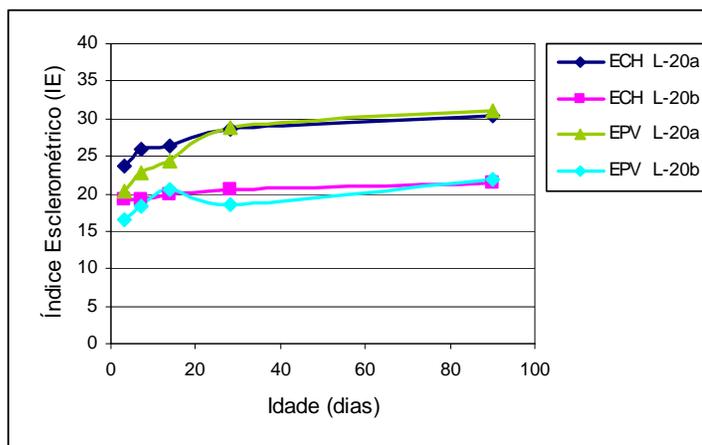


Figura 5.8 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto 20MPa

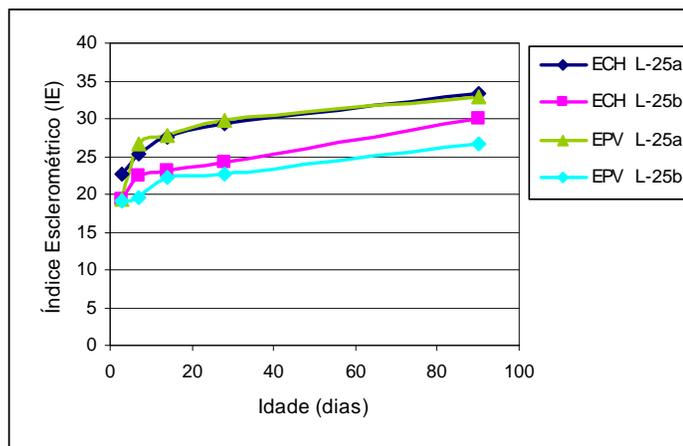


Figura 5.9 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto 25MPa

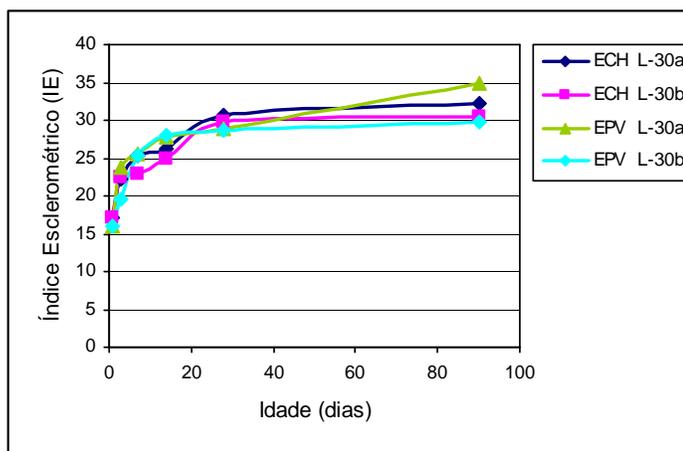


Figura 5.10 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto 30MPa

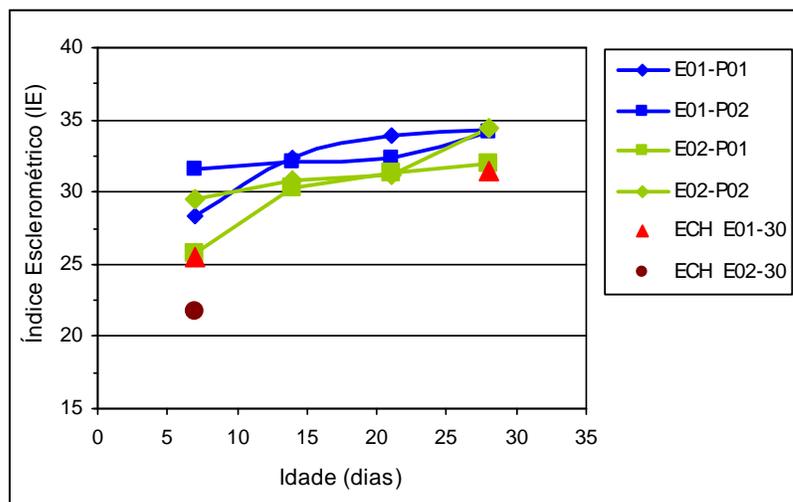


Figura 5.11 - Variação do Índice Esclerométrico com o tempo para concreto in loco

5.4 – PENETRAÇÃO DE PINOS (L_p)

Os resultados para penetração de pinos (L_p) para o concreto 20MPa foram obtidos aos 3, 7, 14, 28 e 90 dias, com corpos-de-prova prismáticos de concreto feito em laboratório. Fez-se a média dos comprimentos de penetração e os valores individuais que se diferenciavam em 15% desta média eram eliminados e a média recalculada. Na tabela 5.6 encontram-se os resultados de L_p dos prismas ensaiados.

Tabela 5.6 - Resultados de L_p para os concretos 20MPa

Concretos	Idade (dias)				
	L_{p3} (mm)	L_{p7} (mm)	L_{p14} (mm)	L_{p28} (mm)	L_{p90} (mm)
L-20a	53,1	41,0	38,7	35,7	29,1
L-20b	54,4	46,4	43,0	37,3	30,8

A figuras 5.12 apresentam a profundidade de penetração dos pinos em função do tempo. Observa-se que a profundidade de penetração é maior para o concreto deixado na cura úmida.

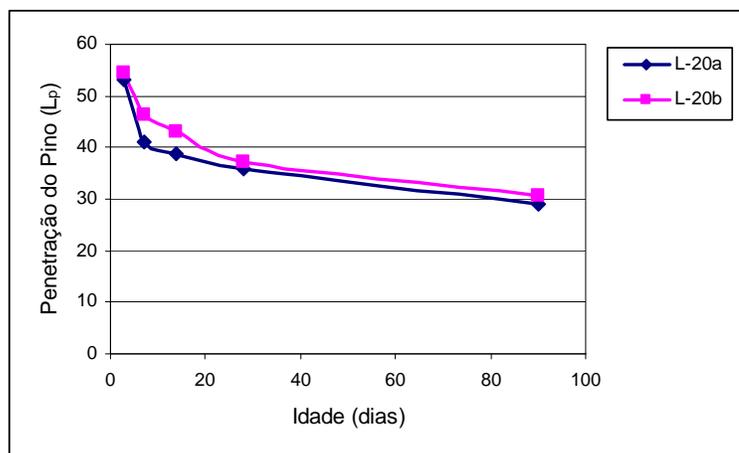


Figura 5.12 - Variação da profundidade de penetração com o tempo para concreto 20MPa

5.4 – MÉTODO DA MATURIDADE

5.4.1 – Resistência à Compressão das Argamassas

As idades e resistências à compressão dos corpos-de-prova cúbicos de argamassa 5x5x5cm para ensaios de energia de ativação estão apresentadas na tabela 5.7 e foram obtidos conforme descrito no item 4.3.5.2 deste trabalho.

Tabela 5.7 – Idade e resistência à compressão dos CP's cúbicos para energia de ativação

13°C	20 MPa	Idade (horas)	34	68	136	272	544	1088
		f_c (MPa)	4,1	10,0	14,6	15,0	21,0	24,7
	25 MPa	Idade (horas)	30	60	120	240	480	960
		f_c (MPa)	4,6	10,7	19,2	23,1	28,7	32,3
	30 MPa	Idade (horas)	28	56	112	224	448	896
		f_c (MPa)	5,2	15,0	20,8	28,1	32,6	36,2
30°C	20 MPa	Idade (horas)	17,5	35	70	140	280	560
		f_c (MPa)	5,4	11,7	15	18,8	23,8	29,5
	25 MPa	Idade (horas)	14	28	56	112	224	448
		f_c (MPa)	3,9	12,6	16,8	19,9	25,7	32,7
	30 MPa	Idade (horas)	16	32	64	128	256	512
		f_c (MPa)	3,8	15,2	20,7	27,2	33,9	38,3
50°C	20 MPa	Idade (horas)	8,5	17	34	68	136	272
		f_c (MPa)	4,0	10,1	14,0	20,0	27,2	30,9
	25 MPa	Idade (horas)	7,5	15	30	60	120	240
		f_c (MPa)	3,8	12,4	18,0	24,8	31,5	35,0
	30 MPa	Idade (horas)	8	16	32	64	128	256
		f_c (MPa)	4,4	12,1	20,2	28,2	34,1	40,9

As figuras 6.13 a 6.15 apresentam a resistência à compressão e idade dos corpos-de-prova cúbicos de argamassa 5x5x5cm utilizados para obtenção da energia de ativação das diferentes misturas, deixados nas temperaturas de 13, 30 e 50°C, de acordo com a tabela 5.7.

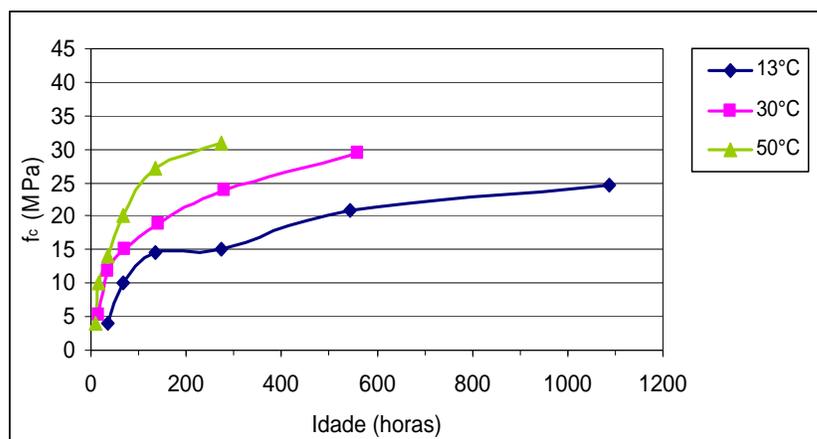


Figura 5.13 – Idade e f_c para os CP's cúbicos da mistura 20MPa

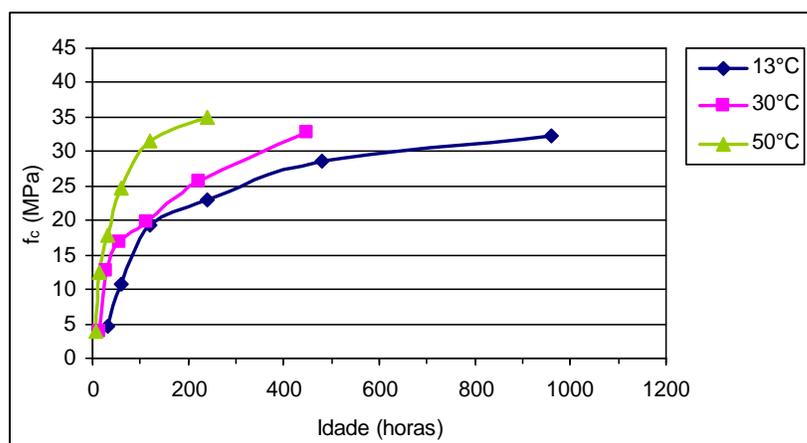


Figura 5.14 - Idade e f_c para os CP's cúbicos da mistura 25MPa

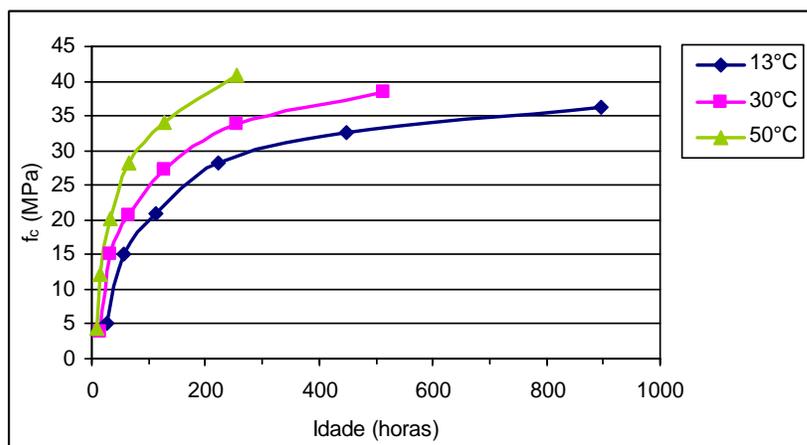


Figura 5.15 - Idade e f_c para os CP's cúbicos da mistura 30MPa

5.4.2 – Monitoramento de Temperatura

As figuras 5.16 a 5.21 apresentam a variação de temperatura com o tempo para os corpos-de-prova de concreto moldados em laboratório. Para o concreto 20MPa cura ao ar estão apresentadas as temperaturas monitoradas pelo *datalogger* até os 28 dias após a concretagem. Para os concretos 25 e 30MPa, cura ao ar e cura úmida, e 20MPa cura úmida, as figuras mostram as temperaturas monitoradas pelo *datalogger* no primeiro dia, e após isso, as temperaturas monitoradas nos ambientes de cura até os 28 dias por meio de termômetro.

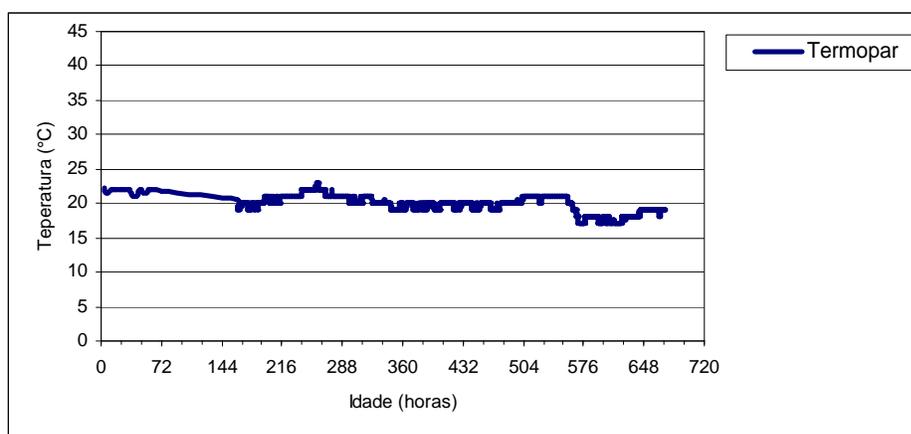


Figura 5.16 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 20MPa cura ao ar

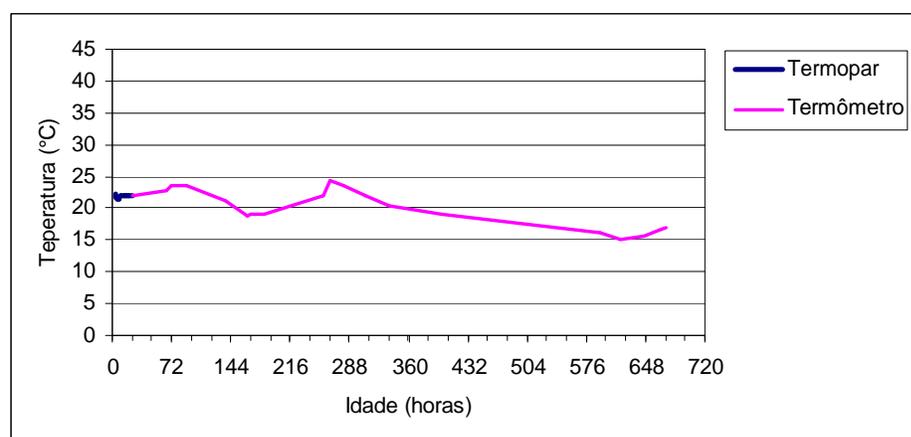


Figura 5.17 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 20MPa cura úmida

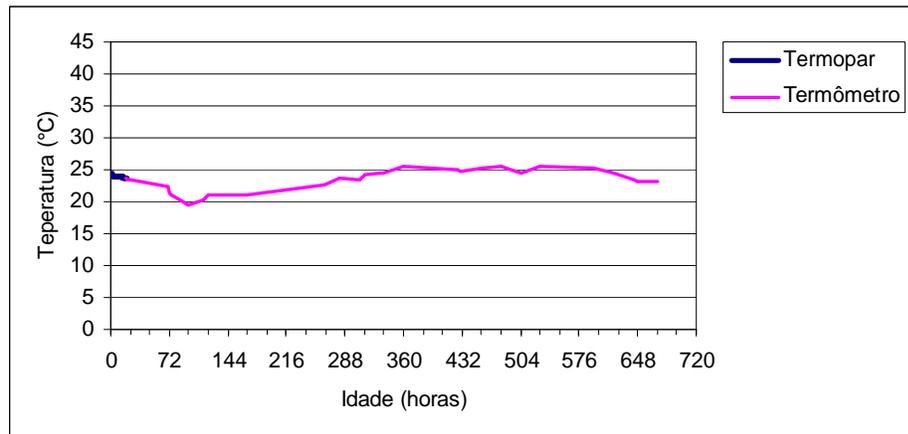


Figura 5.18 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 25MPa cura ao ar

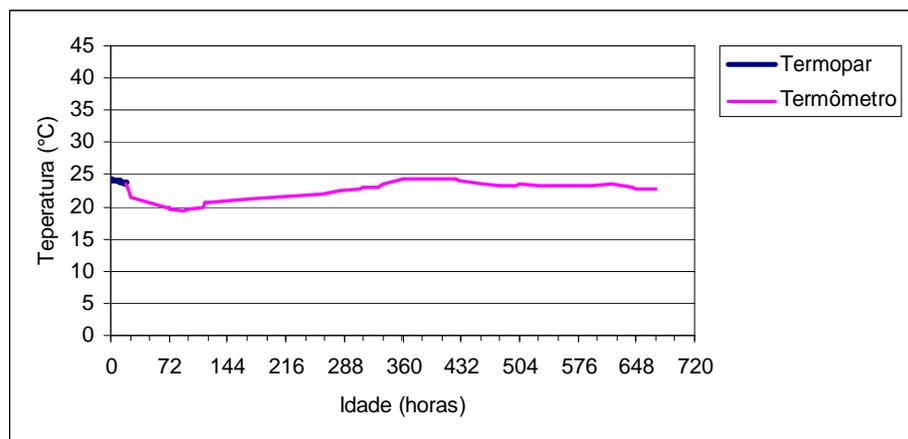


Figura 5.19 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 25MPa cura úmida

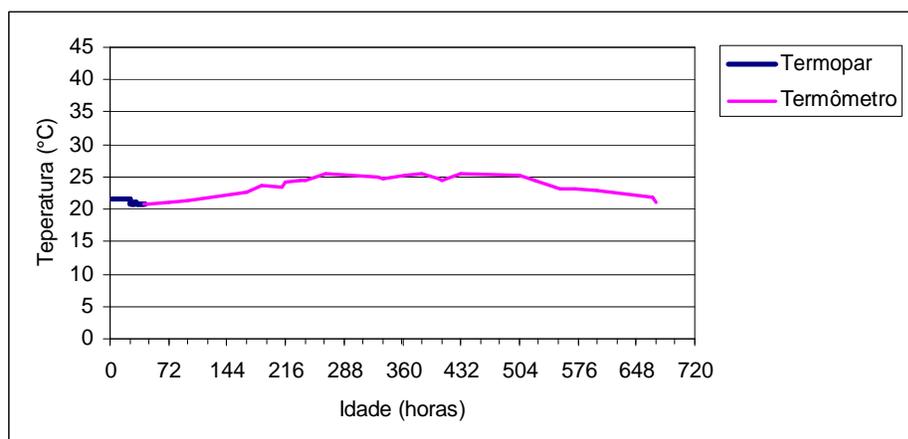


Figura 5.20 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 30MPa cura ao ar

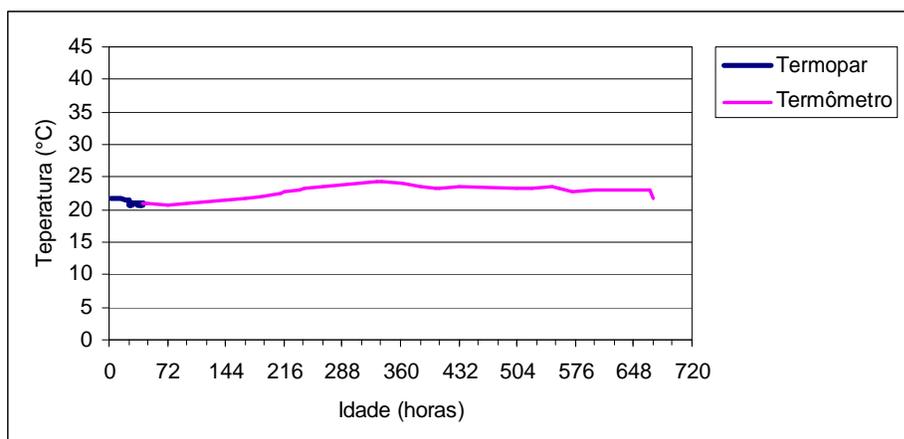


Figura 5.21 - Variação da temperatura com o tempo para concreto 30MPa cura úmida

No monitoramento de temperatura da 2ª etapa, o termopar instalado no concreto do pilar na Obra 02 não funcionou, e os dados obtidos pelo *datalogger* da Obra 01, com um termopar instalado no corpo-de-prova e outro monitorando a temperatura ambiente, praticamente não variaram com o tempo, indicando mau funcionamento do mesmo. Portanto, os dados desses dois aparelhos foram descartados, sendo utilizados os dados obtidos no pilar da Obra 01 até os 21 dias (figura 5.22) e os dados do corpo-de-prova da Obra 02 até os 28 dias (figura 5.23) para cálculo da idade equivalente dos concretos aplicados *in loco*.

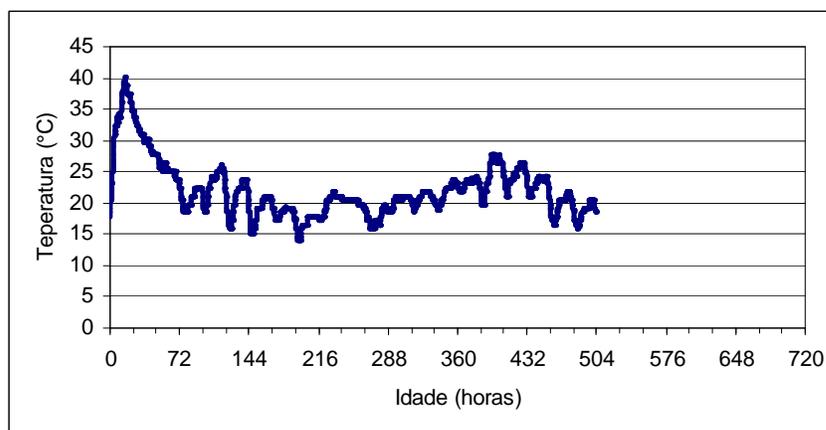


Figura 5.22 – Variação da temperatura com o tempo no concreto da Obra 01

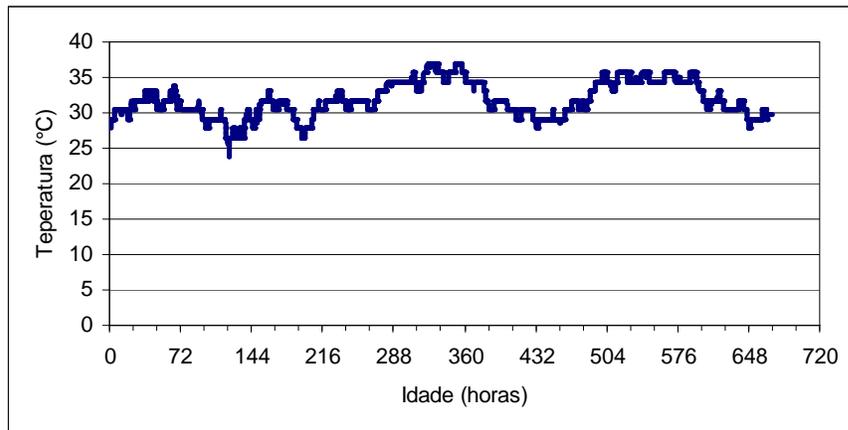


Figura 5.23 - Variação da temperatura com o tempo no concreto da Obra 02

6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são analisados os fatores de influência nos resultados de resistência à compressão, de velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas, do índice esclerométrico, de penetração de pinos e de maturidade.

Está dividido em duas etapas distintas. Na 1ª etapa são analisados os resultados obtidos em laboratório e são traçadas curvas de correlação dos ensaios não destrutivos com a resistência à compressão. Na 2ª etapa são analisados os resultados obtidos nas obras.

6.1 – 1ª ETAPA

A 1ª etapa compreende na análise dos fatores de influência nos resultados obtidos e curvas de correlação são apresentadas, referentes aos ensaios de caracterização feitos em laboratório.

6.1.1 – Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-sônicas

6.1.1.1 – Correlações entre f_c e V

Com os dados de velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas e resistência à compressão do concreto, curvas de correlação foram traçadas através de regressão simples. Segundo Evangelista (2000), alguns autores apresentam curvas de potência e exponencial que melhor se ajustam na correlação entre f_c e V . Neste trabalho, diferentes tipos de regressões foram testadas: potência, exponencial e polinômio de 2º grau.

Um critério adotado na escolha do tipo de curva é o de comparação dos coeficientes de determinação (r^2). Aquela curva que apresentar o maior valor de r^2 é a que mais se ajusta. Evangelista (2000) e Machado (2005) valeram-se deste critério, escolhendo curvas exponenciais e de potência, respectivamente, para correlacionar f_c e V em seus trabalhos.

O tipo de regressão adotada por este trabalho para correlacionar f_c e V foi a de potência, por apresentar os melhores resultados de r^2 na maior parte dos casos estudados, conforme apresentados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Coeficientes r^2 das regressões testadas para correlações entre f_c e V

Concreto	Tipo de Regressão		
	Potência	Exponencial	Pol. 2º grau
UCD L-20a	0,933	0,927	0,882
UCD L-20b	0,955	0,958	0,891
UPD L-20a	0,986	0,978	0,995
UPD L-20b	0,983	0,986	0,954
UPI L-20a	0,922	0,910	0,960
UPI L-20b	0,991	0,988	0,981
UCD L-25a	0,912	0,906	0,802
UCD L-25b	0,935	0,932	0,833
UPD L-25a	0,955	0,949	0,947
UPD L-25b	0,972	0,968	0,967
UPI L-25a	0,823	0,811	0,974
UPI L-25b	0,957	0,954	0,929
UCD L-30a	0,906	0,893	0,778
UCD L-30b	0,911	0,908	0,782
UPD L-30a	0,997	0,995	0,991
UPD L-30b	0,966	0,976	0,997
UPI L-30a	0,909	0,881	0,999
UPI L-30b	0,807	0,787	0,632

A figura 6.1, compara as 3 equações testadas (potência, exponencial e polinômio de 2º grau) para *UDC L-30a*, como exemplo. As curvas de potência e polinomial apresentam-se bastante próximas, e a polinomial de 2º grau apresenta concavidade oposta as outras duas.

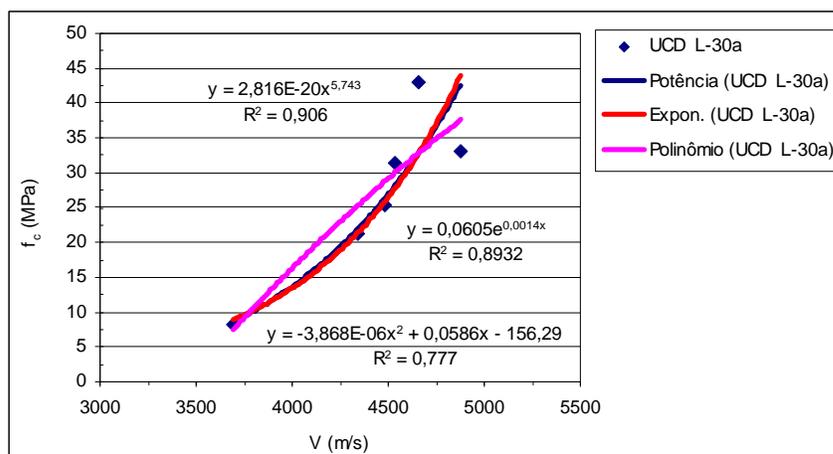


Figura 6.1 – Exemplo de comparação entre curvas das equações testadas para ultra-som

A tabela 6.2 apresenta as equações de correlações entre f_c e V propostas por este trabalho para os diversos traços de concreto e tipos de cura utilizados.

Tabela 6.2 – Equações propostas para correlacionar f_c com V

Concreto	Equação
UCD L-20a	$f_c = 5,430E^{-34} * V^{9,5319}$
UCD L-20b	$f_c = 6,687E^{-20} * V^{6,5735}$
UPD L-20a	$f_c = 3,807E^{-27} * V^{7,6836}$
UPD L-20b	$f_c = 2,514E^{-18} * V^{5,1817}$
UPI L-20a	$f_c = 1,102E^{-19} * V^{6,6617}$
UPI L-20b	$f_c = 1,144E^{-17} * V^{5,0635}$
UCD L-25a	$f_c = 1,466E^{-22} * V^{6,3872}$
UCD L-25b	$f_c = 1,072E^{-18} * V^{5,2951}$
UPD L-25a	$f_c = 7,048E^{-34} * V^{9,5375}$
UPD L-25b	$f_c = 1,161E^{-27} * V^{7,792}$
UPI L-25a	$f_c = 1,669E^{-44} * V^{12,618}$
UPI L-25b	$f_c = 3,174E^{-29} * V^{8,2767}$
UCD L-30a	$f_c = 2,816E^{-20} * V^{5,743}$
UCD L-30b	$f_c = 1,461E^{-16} * V^{4,6957}$
UPD L-30a	$f_c = 1,797E^{-29} * V^{8,3399}$
UPD L-30b	$f_c = 3,589E^{-22} * V^{6,2789}$
UPI L-30a	$f_c = 6,315E^{-21} * V^{6,0277}$
UPI L-30b	$f_c = 1,672E^{-18} * V^{5,3219}$

6.1.1.2 – Influência do Tipo de Cura

Utilizando-se das equações de correlação propostas, verifica-se a influência do tipo de cura na utilização do método de ultra-som na correlação com resistência à compressão. A velocidade das ondas ultra-sônicas nos concretos com cura úmida é mais elevada. As figuras 6.2 a 6.10 comparam os tipos de cura para os concretos utilizados neste programa experimental.

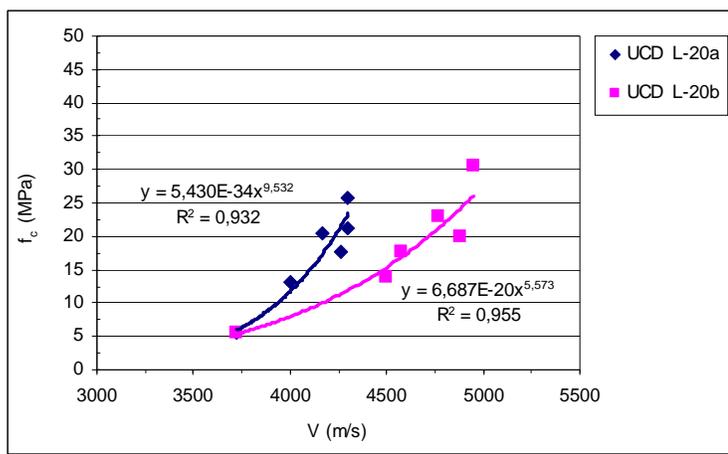


Figura 6.2 – Correlações entre f_c e V para concreto 20MPa transmissão direta da onda em cilindros

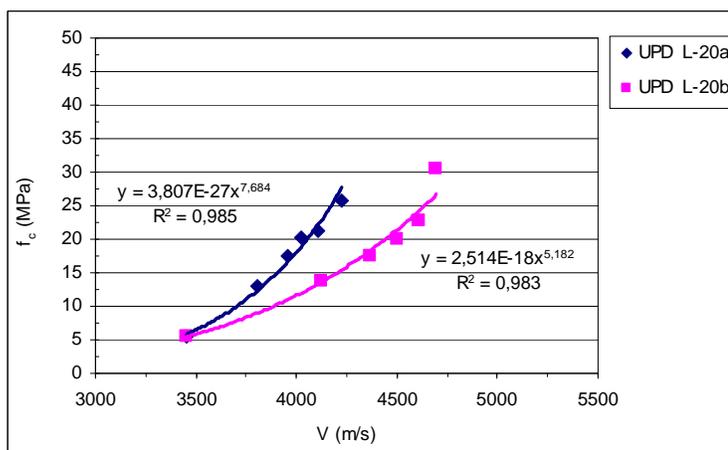


Figura 6.3 - Correlações entre f_c e V para concreto 20MPa transmissão direta da onda em prismas

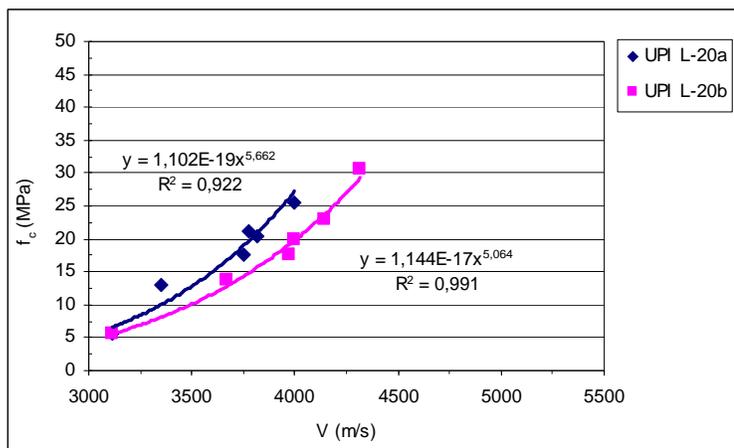


Figura 6.4 - Correlações entre f_c e V para concreto 20MPa transmissão indireta da onda

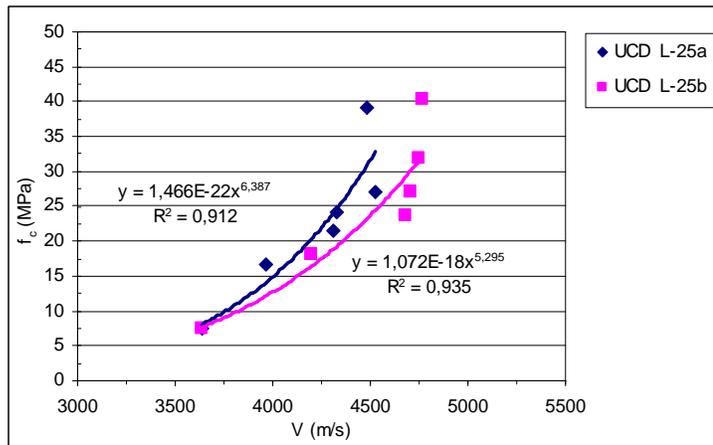


Figura 6.5 – Correlações entre f_c e V para concreto 25MPa transmissão direta da onda em cilindros

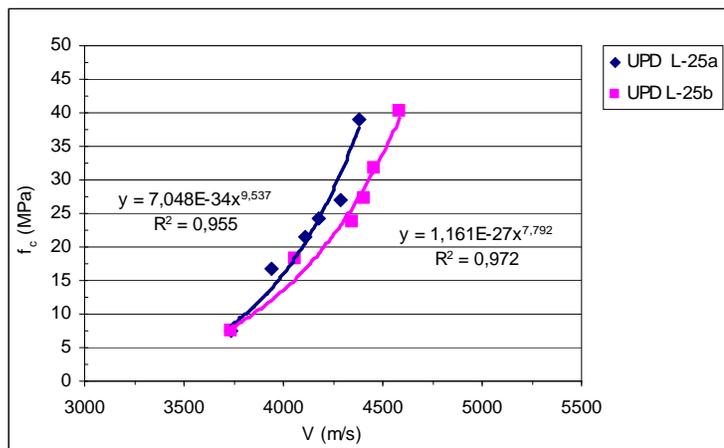


Figura 6.6 – Correlações entre f_c e V para concreto 25MPa transmissão direta da onda em prismas

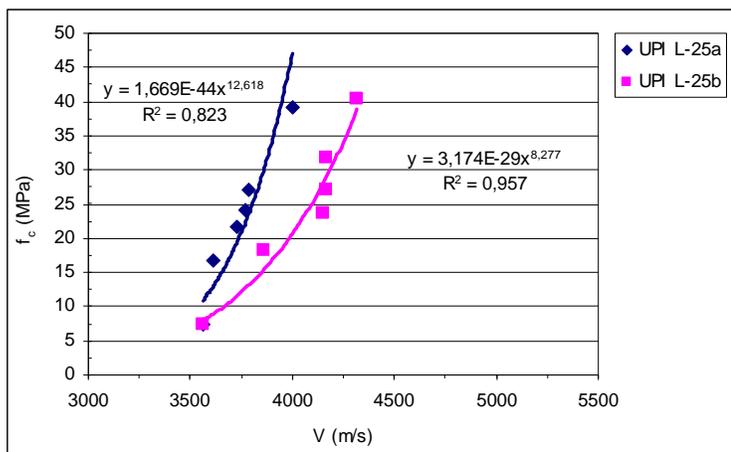


Figura 6.7 – Correlações entre f_c e V para concreto 25MPa transmissão indireta da onda

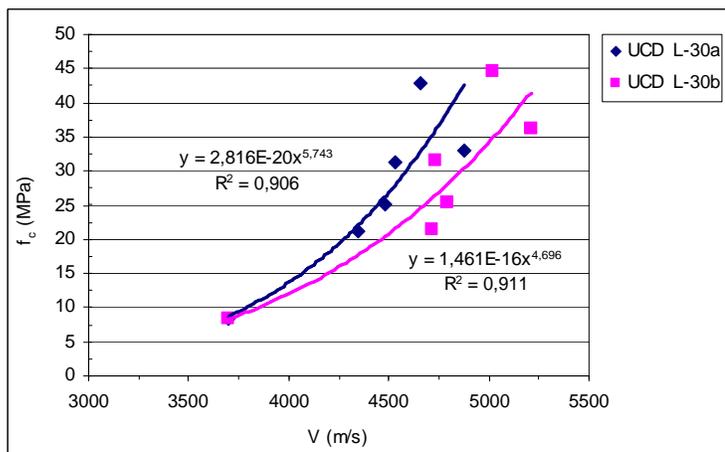


Figura 6.8 – Correlações entre f_c e V para concreto 30MPa transmissão direta da onda em cilindros

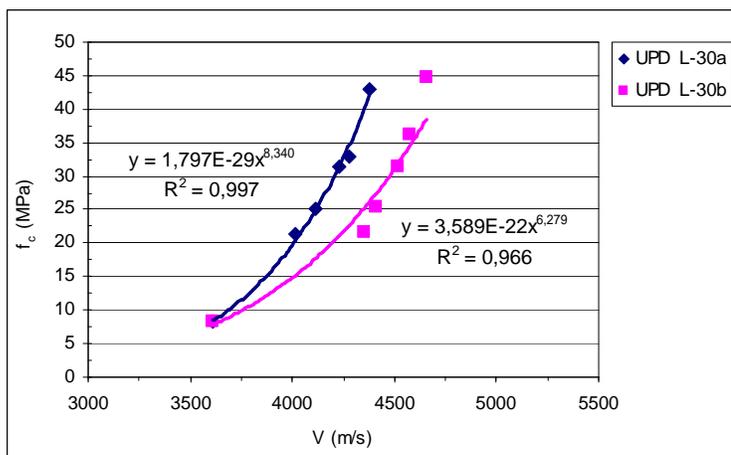


Figura 6.9 – Correlações entre f_c e V para concreto 30MPa transmissão direta da onda em prismas

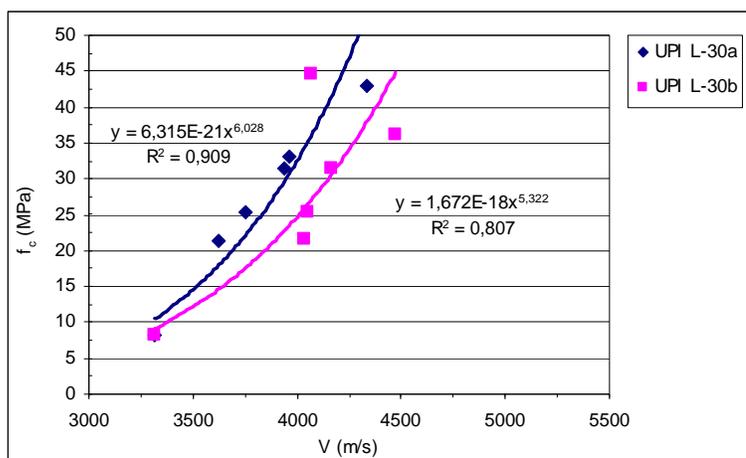


Figura 6.10 – Correlações entre f_c e V para concreto 30MPa transmissão indireta da onda

Para um mesmo nível de resistência, as ondas percorrem mais rapidamente concretos deixados na cura úmida. Os corpos-de-prova deixados na cura úmida mantiveram-se saturados durante o ensaio, com presença de umidade nos poros, influenciando na velocidade das ondas ultra-sônicas.

Valendo-se da utilização dos mesmos componentes (agregados grão e miúdo e tipo de cimento), em diferentes proporções nas misturas de 20, 25 e 30MPa, pode-se tentar gerar uma única curva de correlação entre resistência à compressão e velocidade para todas as misturas em conjunto. Esta correlação está explícita nas figuras 6.11 a 6.13, comparando-se cura ao ar com cura úmida.

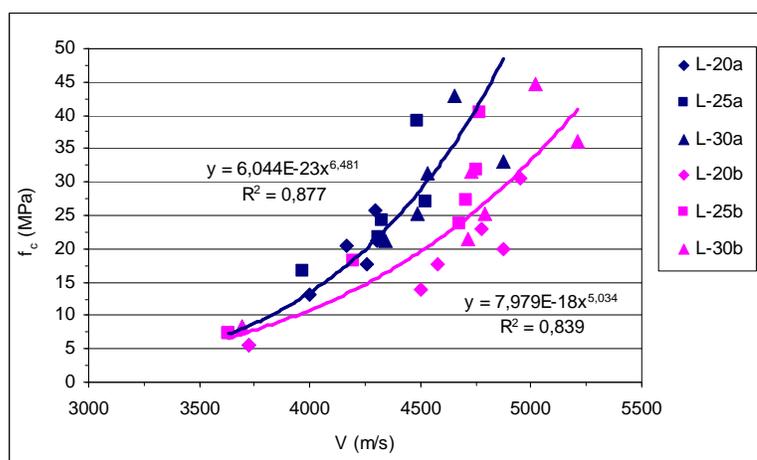


Figura 6.11 – Transmissão direta em CP's cilíndricos de 20, 25 e 30MPa

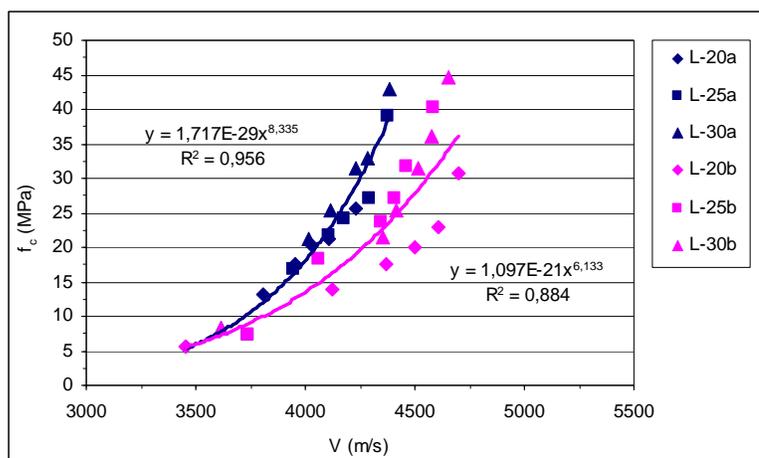


Figura 6.12 – Transmissão direta em CP's prismáticos de 20, 25 e 30MPa

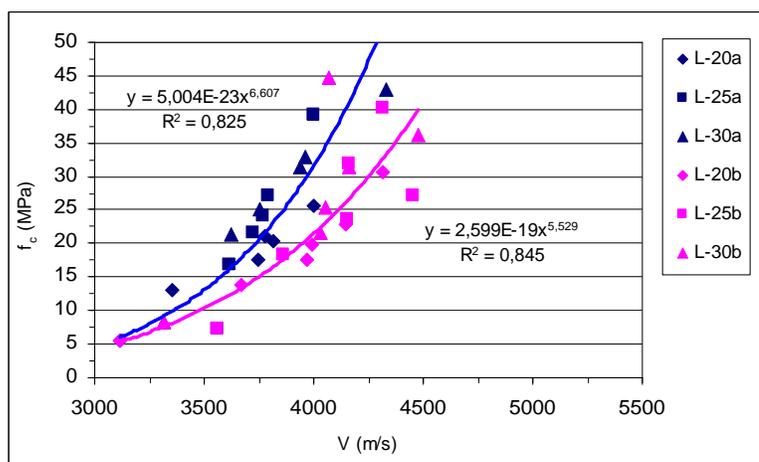


Figura 6.13 – Transmissão indireta em CP's prismáticos de 20, 25 e 30MPa

Estas curvas apresentaram coeficientes de determinação (r^2) menores do que aqueles obtidos nas curvas traçadas individualmente para cada tipo de mistura de concreto, identificando que se obtém melhores estimativas por meio das curvas individuais de correlação.

6.1.1.3 – Influência do Tipo de Transmissão da Onda Ultra-sônica

Na utilização do ultra-som foram usados dois métodos de transmissão das ondas ultra-sônicas no concreto, o direto e o indireto. As figuras 6.14 a 6.19 comparam o tipo de transmissão direta e indireta nos prismas de concreto nos diferentes métodos

de cura. Conforme esperado, para um mesmo nível de resistência, os valores de velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas foram maiores para o método direto de transmissão em relação ao método indireto. A onda ultra-sônica no método indireto se propaga na superfície da peça, camada com alta concentração de finos, que não representa a peça de concreto como um todo, conforme citado por alguns autores como Bungey, 1989 e Naik *et al.*, 2004.

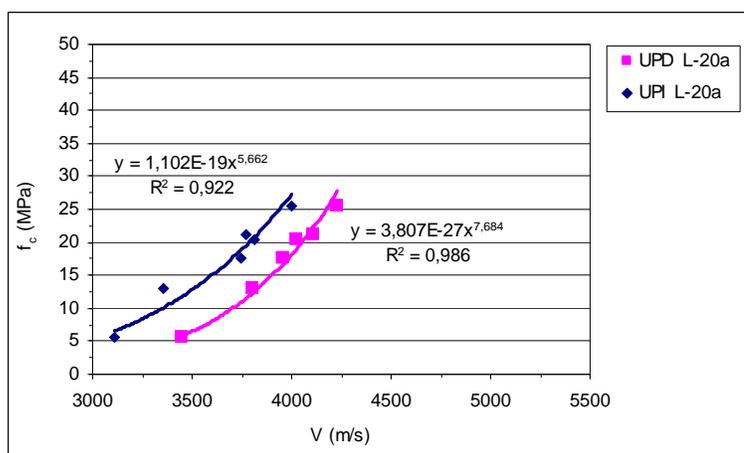


Figura 6.14 – Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 20MPa cura ao ar

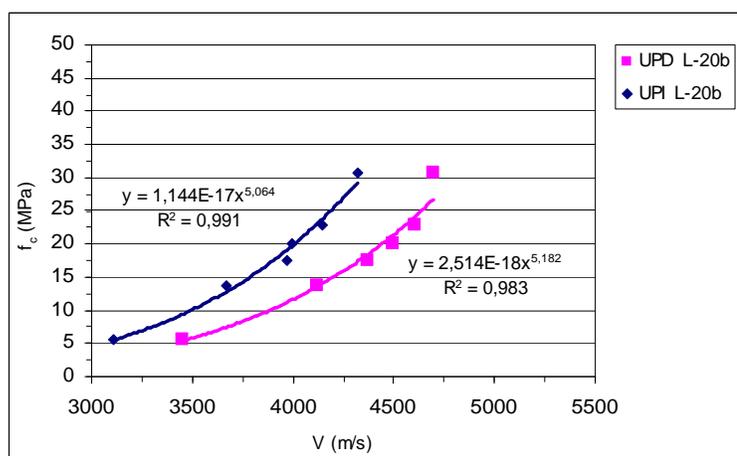


Figura 6.15 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 20MPa cura úmida

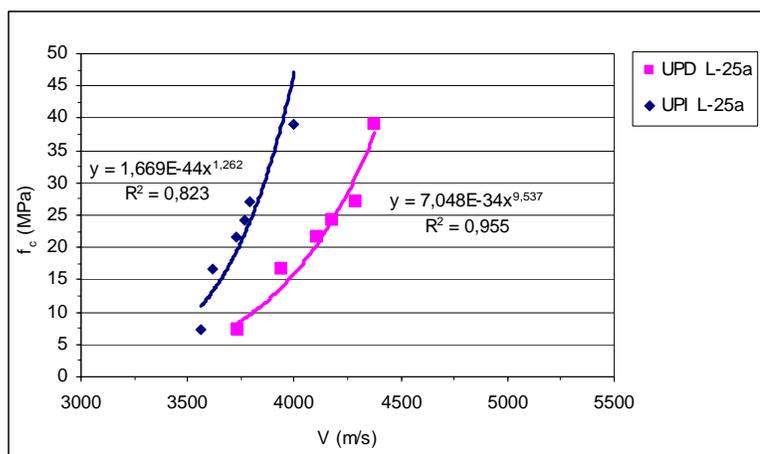


Figura 6.16 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 25MPa cura ao ar

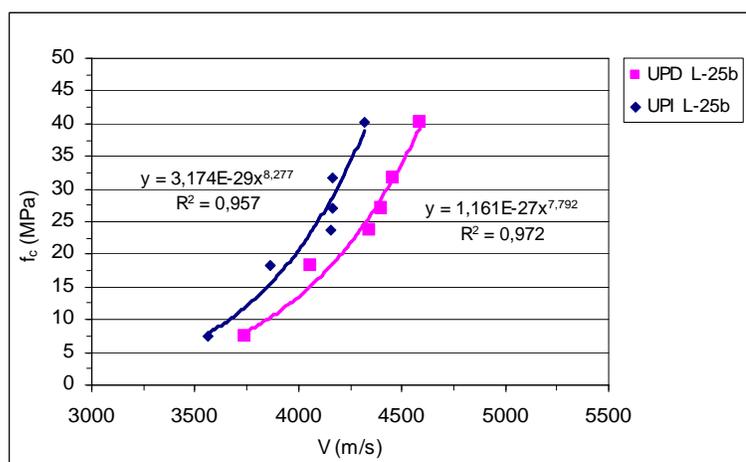


Figura 6.17 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 25MPa cura úmida

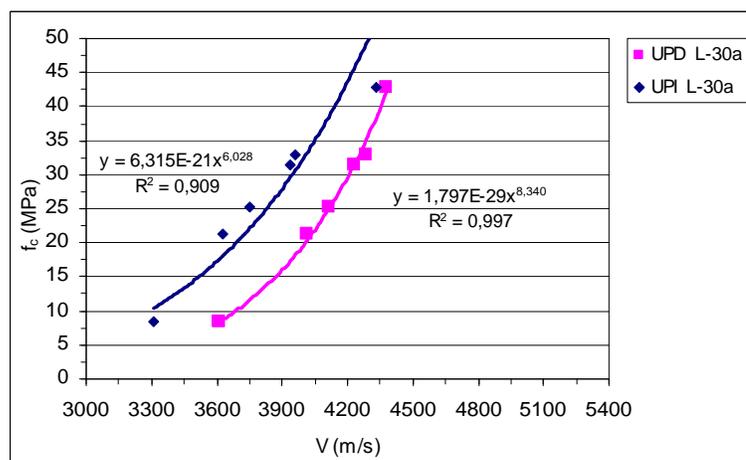


Figura 6.18 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 30MPa cura ao ar

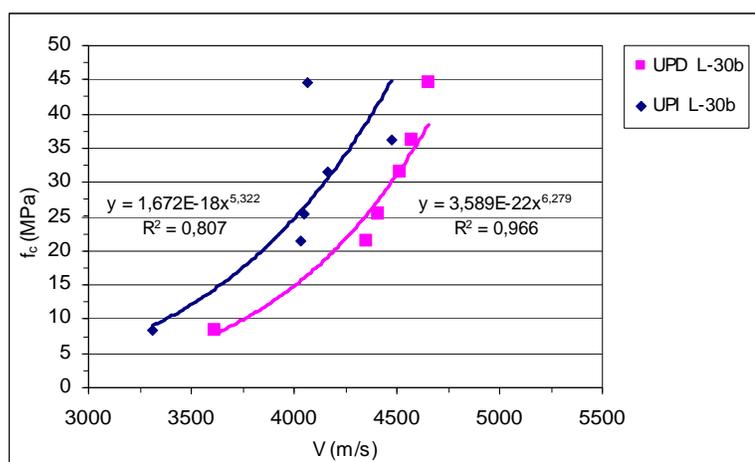


Figura 6.19 - Influência do tipo de transmissão da onda no concreto 30MPa cura úmida

Como feito anteriormente, utilizando-se dos mesmos componentes (agregados graúdo e miúdo e tipo de cimento), em diferentes proporções nas misturas de 20, 25 e 30MPa, e gerando uma única curva de correlação entre resistência à compressão e velocidade, comparam-se os tipos de transmissão de onda ultra-sônica em corpos-de-prova prismáticos de concreto conforme mostram as figuras 6.20 e 6.21.

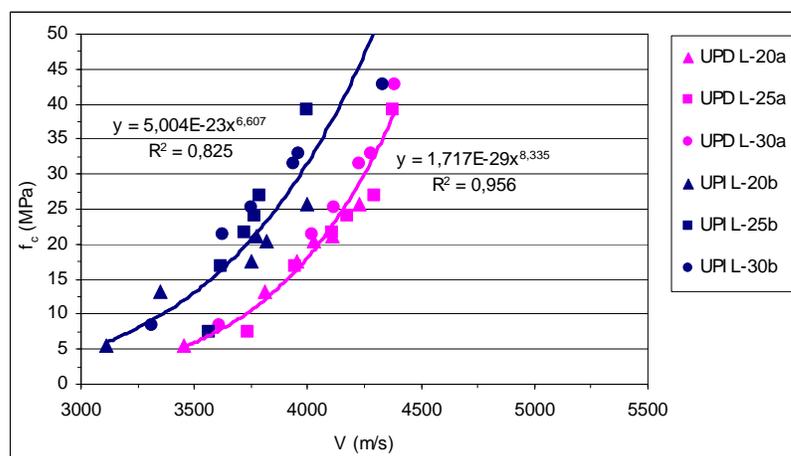


Figura 6.20 – Influência do tipo de transmissão da onda nos concretos 20, 25 e 30MPa cura ao ar

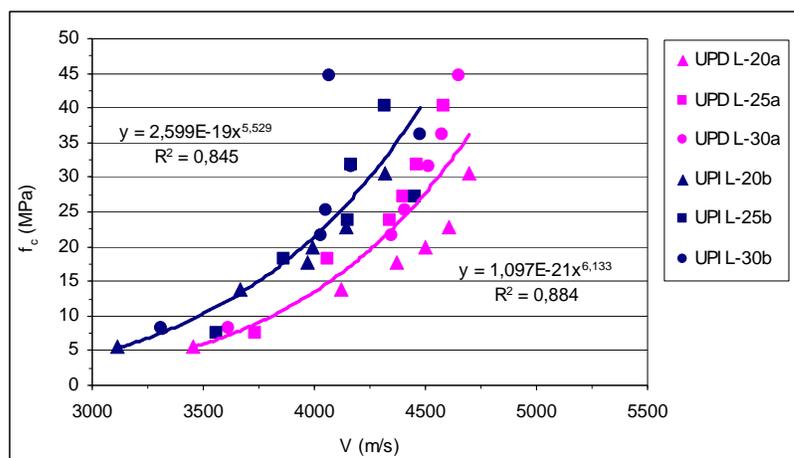


Figura 6.21 - Influência do tipo de transmissão da onda nos concretos 20, 25 e 30MPa cura úmida

Os resultados obtidos com as curvas através da aplicação indireta do ultra-som foram satisfatórios, apresentando coeficientes de determinação (r^2) próximos aos encontrados nas curvas de aplicação direta das ondas ultra-sônicas no concreto, indicando a possibilidade de ser utilizado em obras, nos locais de difícil acesso, como é o caso das lajes. A avaliação da resistência à compressão em lajes através da aplicação direta do ultra-som é difícil, cabendo a este caso a aplicação indireta da onda ultra-sônica.

6.1.1.4 – Influência do Tipo de Corpo-de-prova

As figuras 6.22 a 6.27 comparam as curvas de correlação obtidas através do ensaio de ultra-som em corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos, no método direto de aplicação da onda ultra-sônica.

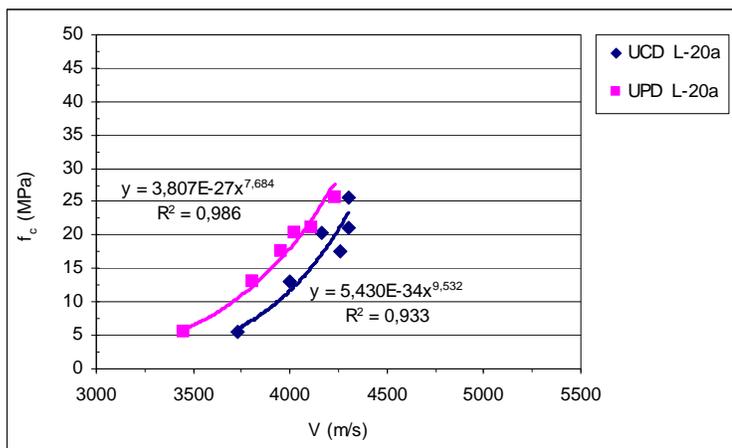


Figura 6.22 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 20MPa cura ao ar

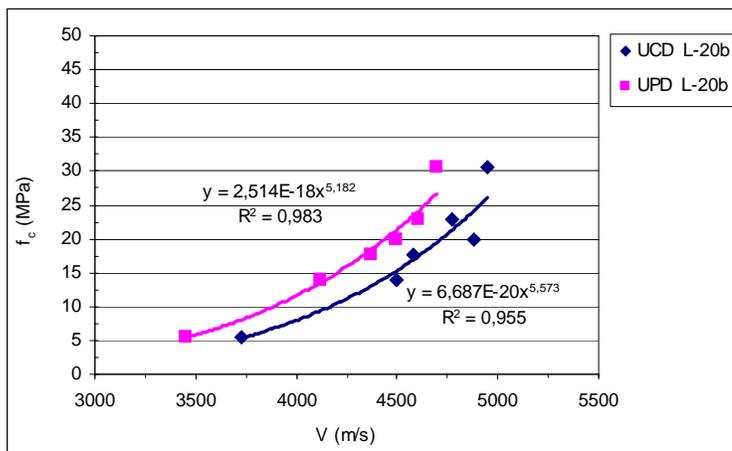


Figura 6.23 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 20MPa cura úmida

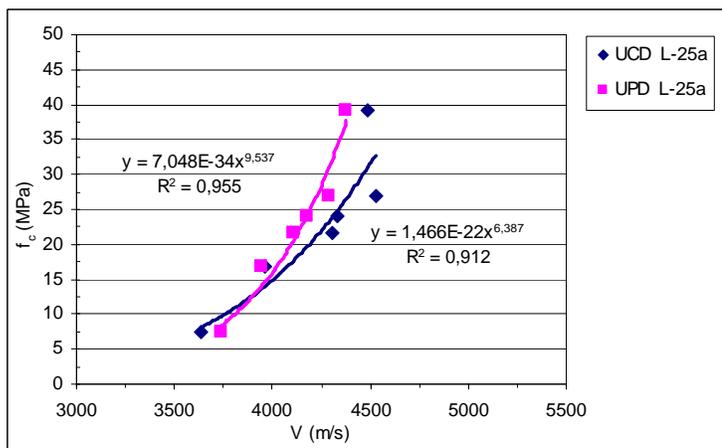


Figura 6.24 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 25MPa cura ao ar

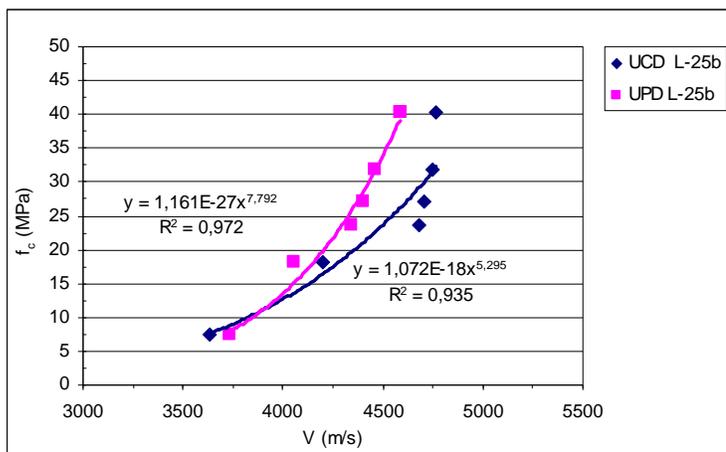


Figura 6.25 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 25MPa cura úmida

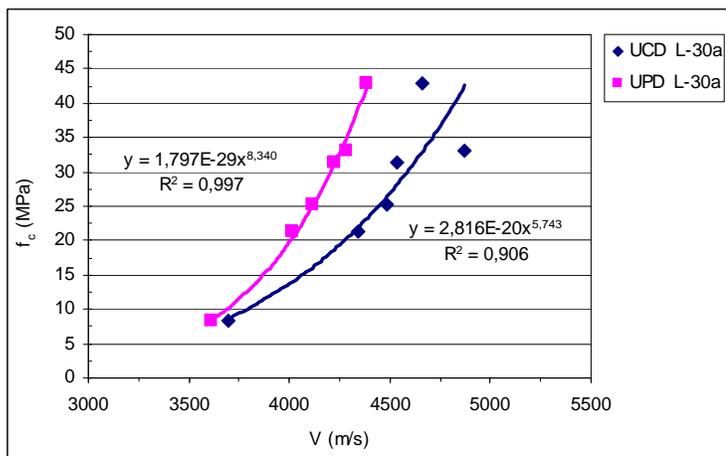


Figura 6.26 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 30MPa cura ao ar

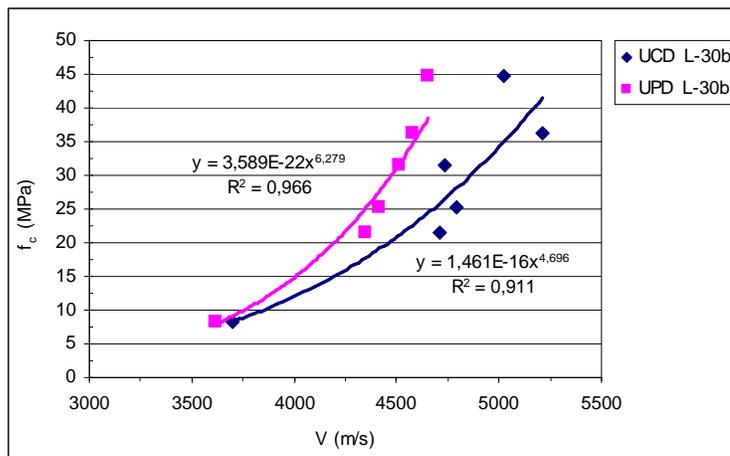


Figura 6.27 - Influência do tipo de CP na velocidade da onda para o concreto 30MPa cura úmida

É interessante observar que os valores de velocidade de propagação da onda ultra-sônica nos corpos-de-prova cilíndricos, para todas as misturas, foram maiores do que nos corpos-de-prova prismáticos. Alguns procedimentos na hora da concretagem podem ter ocasionado esta diferença. Os cilindros, por serem concretados na vertical, possuíam seus planos (camadas) de concretagem ortogonalmente dispostos a aplicação dos transdutores para o ensaio de ultra-som. Já os prismas, que foram concretados na horizontal, tiveram suas camadas de concretagem paralelas a aplicação dos transdutores. Também, um maior adensamento do concreto nos moldes cilíndricos durante a concretagem pode ter ocorrido, deixando os corpos-de-prova cilíndricos mais compactados do que os prismáticos.

As curvas de correlação obtidas através de ensaios em corpos-de-prova prismáticos apresentaram maiores coeficientes de determinação (r^2) em comparação aos das curvas de correlação dos concretos dos corpos-de-prova cilíndricos. Os ensaios de ultra-som foram executados sempre nos mesmos corpos-de-prova prismáticos, nas misturas 25 e 30MPa, em todas as idades, diferentemente dos ensaios em corpos-de-prova cilíndricos, onde se utilizou 3 cilindros diferentes em cada idade. Para a mistura de 20MPa, foram utilizados prismas e cilindros distintos em cada idade. A maior dispersão dos resultados com relação a curva de correlação para os cilindros, pode ser resultado da variabilidade intrínseca entre os cilindros.

6.1.2 – Esclerometria

6.1.2.1 – Correlações entre f_c e IE

Como feito anteriormente para velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, curvas de correlação foram traçadas através de regressão simples entre resistência à compressão e índice esclerométrico. Segundo Machado (2005), com base a consulta de outros autores, as curvas mais indicadas são as de potência e linear, sendo que em sua pesquisa a que mais se ajustou foi a de potência.

Foram testadas regressões lineares, de potência e polinomial de 2º grau para correlacionar f_c e IE . A polinomial de 2º grau foi a que apresentou o maior valor de r^2 na maioria das misturas testadas, conforme apresentado na tabela 6.3. Porém, a exemplo

de Evangelista (2000), em alguns casos este tipo de regressão apresentou concavidade oposta, dificultando a comparação entre elas. Com isso, foram adotadas curvas lineares, que de um modo geral apresentaram valores de r^2 maiores em relação às curvas de potência.

Tabela 6.3 - Coeficientes r^2 das regressões testadas para correlações entre f_c e IE

Concreto	Tipo de Regressão		
	Potência	Linear	Pol. 2º grau
ECH L-20a	0,924	0,937	0,946
ECH L-20b	0,920	0,950	0,953
EPV L-20a	0,876	0,887	0,909
EPV L-20b	0,762	0,746	0,757
ECH L-25a	0,982	0,961	0,992
ECH L-25b	0,941	0,954	0,968
EPV L-25a	0,853	0,812	0,992
EPV L-25b	0,909	0,940	0,943
ECH L-30a	0,935	0,943	0,946
ECH L-30b	0,932	0,948	0,954
EPV L-30a	0,984	0,992	0,992
EPV L-30b	0,906	0,895	0,904

A figura 6.28 compara as 3 equações testadas (potência, linear e polinômio de 2º grau) para *ECH L-25a*, como exemplo. As curvas estão bastante próximas, e a polinomial de 2º grau apresenta uma concavidade oposta em relação a curva de potência.

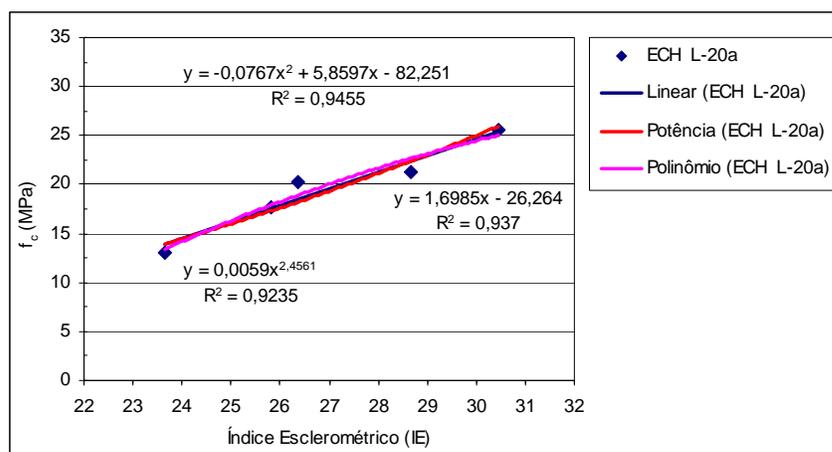


Figura 6.28 - Exemplo de comparação entre curvas das equações testadas para esclerometria

A tabela 6.4 apresenta as equações de correlações entre f_c e IE propostas por este trabalho para os diversos traços de concreto e tipos de cura utilizados.

Tabela 6.4 - Equações propostas para correlacionar f_c com IE

Concreto	Equação
ECH L-20a	$f_c = 1,6985*IE - 26,264$
ECH L-20b	$f_c = 6,1136*IE - 101,66$
EPV L-20a	$f_c = 10,9943*IE - 5,7062$
EPV L-20b	$f_c = 2,6181*IE - 29,296$
ECH L-25a	$f_c = 2,0359*IE - 30,611$
ECH L-25b	$f_c = 2,092*IE - 21,671$
EPV L-25a	$f_c = 1,4906*IE - 14,988$
EPV L-25b	$f_c = 2,6765*IE - 30,74$
ECH L-30a	$f_c = 2,0472*IE - 25,502$
ECH L-30b	$f_c = 2,4723*IE - 32,865$
EPV L-30a	$f_c = 1,8661*IE - 21,795$
EPV L-30b	$f_c = 2,1308*IE - 24,491$

6.1.2.2 – Influência do Tipo de Cura

Utilizando-se das equações de correlação propostas na tabela 6.4, verifica-se a influência do tipo de cura na utilização do método de esclerometria na correlação com resistência à compressão. As figuras 6.29 a 6.34 comparam os tipos de cura, úmida e ao ar, para os concretos utilizados neste programa experimental.

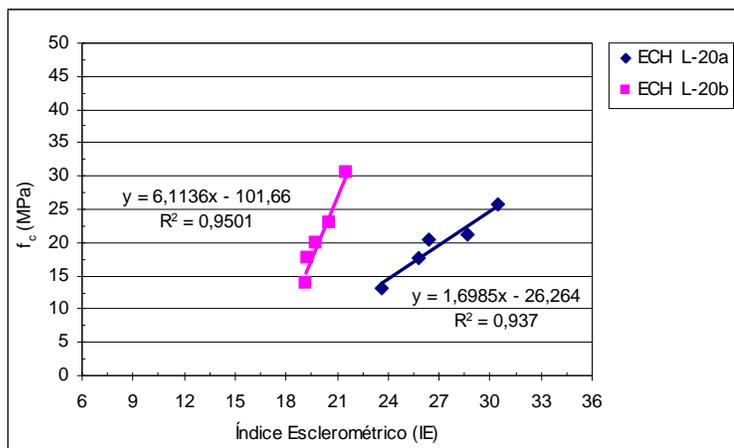


Figura 6.29 - Correlações entre f_c e IE para concreto 20MPa com esclerômetro na horizontal

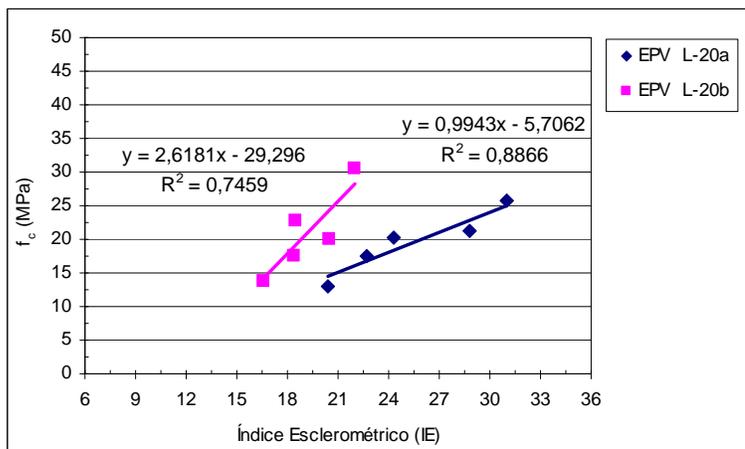


Figura 6.30 - Correlações entre f_c e IE para concreto 20MPa com esclerômetro na vertical

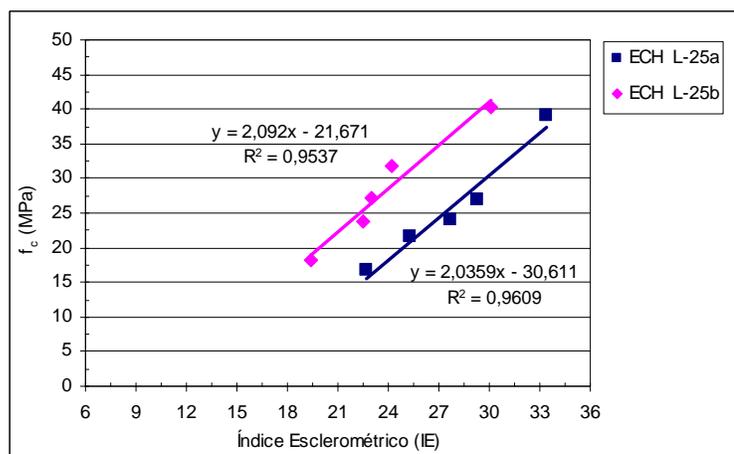


Figura 6.31 - Correlações entre f_c e IE para concreto 25MPa com esclerômetro na horizontal

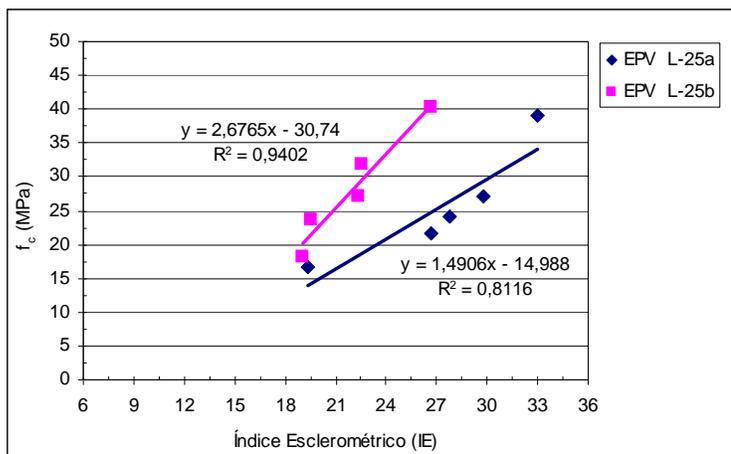


Figura 6.32 - Correlações entre f_c e IE para concreto 25MPa com esclerômetro na vertical

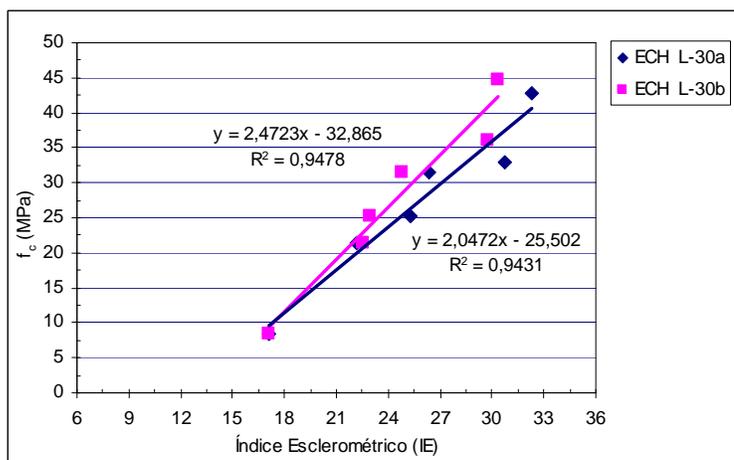


Figura 6.33 - Correlações entre f_c e IE para concreto 30MPa com esclerômetro na horizontal

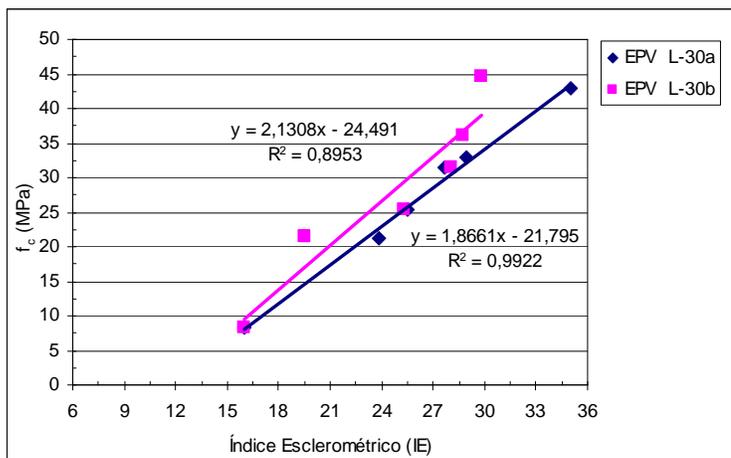


Figura 6.34 - Correlações entre f_c e IE para concreto 30MPa com esclerômetro na vertical

Inversamente aos valores de velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas, os valores dos índices esclerométricos apresentam valores maiores nos concretos com cura ao ar, indicando que a dureza da superfície do concreto é menor quando está saturada do que quando está seca, conforme também observado por outros autores, como Bungey, 1989. Os dados obtidos confirmam esta diferença e reforçam a necessidade de se obter diferentes curvas de correlação para diferentes condições superficiais do concreto a ser ensaiado.

Utilizando os mesmos componentes (agregados graúdo e miúdo e tipo de cimento), em diferentes proporções nas misturas de 20, 25 e 30MPa, foi gerada uma única curva de correlação entre resistência à compressão e índice esclerométrico. As figuras 6.35 e 6.36 apresentam estas curvas, comparando cura ao ar e cura úmida.

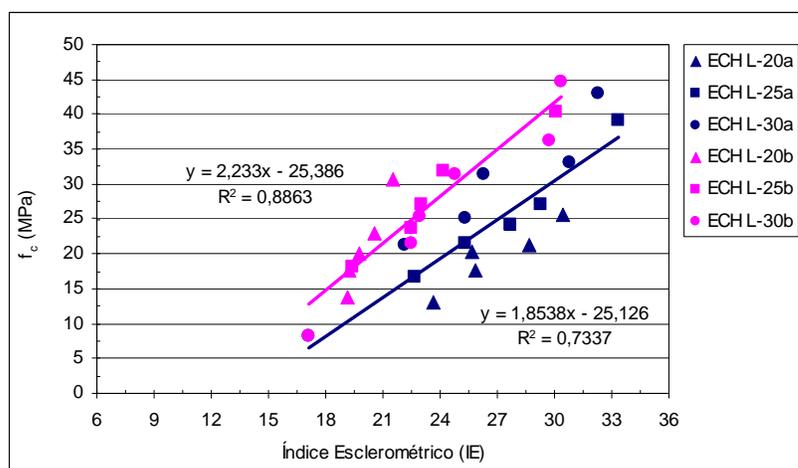


Figura 6.35 – Correlações entre f_c e IE com esclerômetro na horizontal

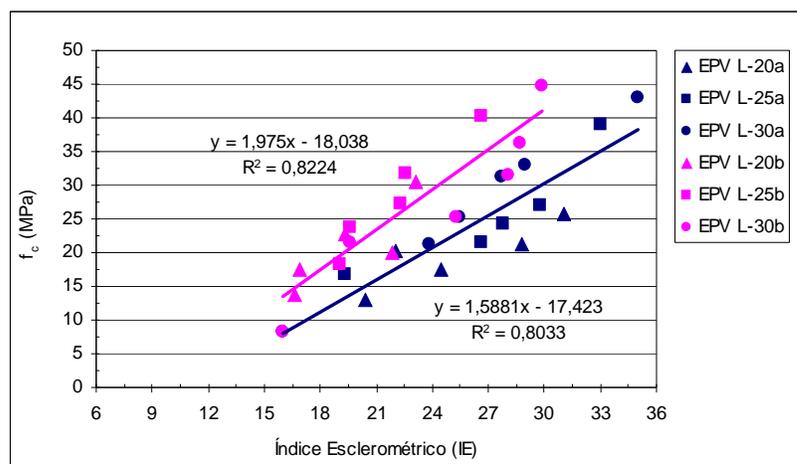


Figura 6.36 – Correlações entre f_c e IE com esclerômetro na vertical

Estas curvas apresentaram coeficientes de determinação (r^2) menores em relação aos r^2 de curvas traçadas individualmente para cada tipo de mistura de concreto.

6.1.3 – Penetração de Pinos (L_p)

6.1.3.1 – Correlações entre f_c e L_p

Curvas de correlação foram traçadas através de regressão simples entre resistência à compressão e profundidade de penetração de pinos. Foram testadas regressões logarítmica, linear e polinomial de 2º grau para correlacionar f_c e L_p .

Apesar de ter apresentado valores de r^2 mais baixos, optou-se pela equação linear para correlacionar profundidade de penetração de pinos e resistência à compressão, por ser uma equação bastante simples e os valores de r^2 estarem bastante próximos aos valores dos outros dois tipos de equações testadas.

Tabela 6.5 - Coeficientes r^2 das regressões testadas para correlações entre f_c e L_p

Concreto	Tipo de Regressão		
	Logarítmica	Linear	Pol. 2º grau
L-20a	0,986	0,971	0,987
L-20b	0,983	0,955	0,991

Através das figuras 6.37 e 6.38, que comparam as equações testadas (logarítmica, linear e polinômio de 2º grau), visualiza-se a proximidade das mesmas.

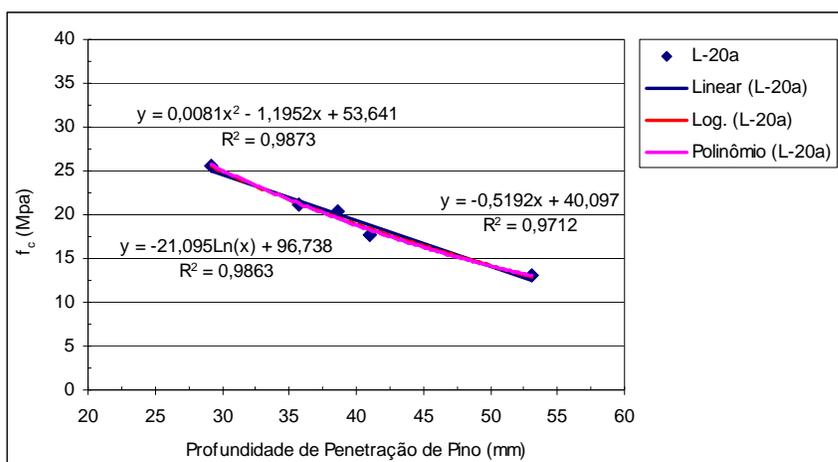


Figura 6.37 - Comparação entre curvas das equações testadas para penetração de pinos

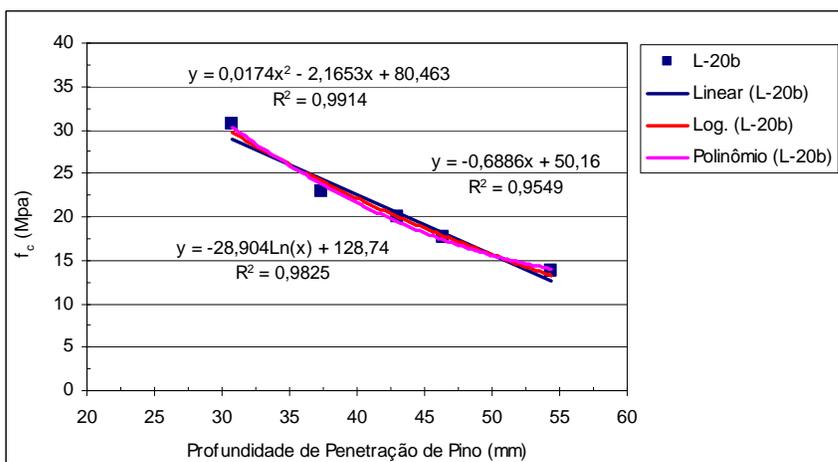


Figura 6.38 - Comparação entre curvas das equações testadas para penetração de pinos

A tabela 6.6 apresenta as equações de correlação entre f_c e L_p para as misturas de concreto e tipos de cura utilizados.

Tabela 6.6 - Equações propostas para correlacionar f_c com Lp

Concreto	Equação
L-20a	$f_c = -0,5192Lp + 40,097$
L-20b	$f_c = -0,6886Lp + 50,16$

6.1.3.2 – Influência do Tipo de Cura

Utilizando-se das equações de correlação propostas na tabela 6.6, verifica-se a influência do tipo de cura na utilização do método de penetração de pinos na correlação com resistência à compressão. A figura 6.39 compara os tipos de cura, úmida e ao ar para a mistura de concreto testada com o ensaio de penetração de pinos.

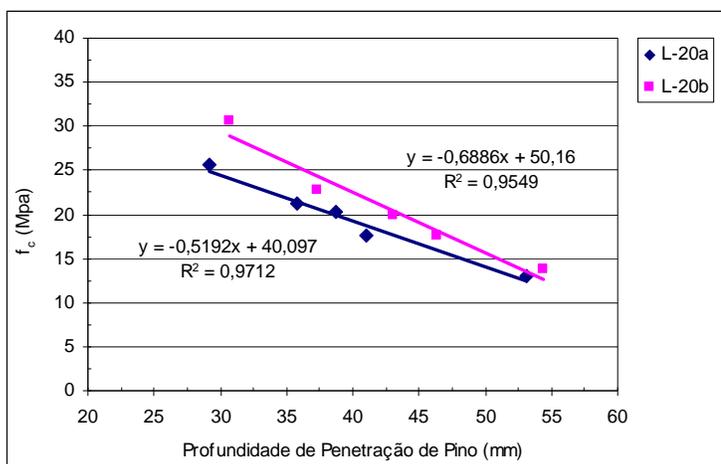


Figura 6.39 - Correlações entre f_c e Lp para concreto 20MPa

As profundidades de penetração de pinos para a mistura de concreto deixada na cura úmida foram maiores que os resultados da mistura deixada na cura ao ar, indicando a influência nos resultados devido a umidade da peça ensaiada. O comitê 228-1R de ACI (2003) cita a influência da umidade superficial nas profundidades de penetração dos pinos e, Pinto e Dutra (2004) também verificaram uma profundidade maior de penetração dos pinos em peças de concreto deixadas na cura úmida.

6.1.4 – Maturidade

6.1.4.1 – Energia de Ativação (E_a)

Para a obtenção da energia aparente de ativação (E_a), como descrito no capítulo 3, é monitorada a evolução da resistência à compressão de argamassas curadas isotermicamente a pelo menos três temperaturas diferentes, com a taxa constante sendo obtida assumindo-se que o desenvolvimento da resistência à compressão com o tempo segue um comportamento hiperbólico linear.

Aplicando-se os dados obtidos e utilizando-se de um programa computacional para regressão não linear utilizando a equação hiperbólica linear (equação 3.5 descrita no item 3.4.3. deste trabalho), ajustou-se a curva de correlação entre idade e resistência à compressão, obtendo-se os parâmetros de regressão apresentados na tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Parâmetros de regressão

Concreto	Temperatura	f_{coo}	k_t	t_o
20 MPa	13°C	27,0	0,006730	-1,98
	30°C	34,1	0,009110	-9,71
	50°C	37,0	0,018960	0,66
25 MPa	13°C	35,2	0,009926	14,48
	30°C	36,4	0,013150	-0,70
	50°C	39,2	0,033450	3,55
30 MPa	13°C	38,8	0,012890	14,34
	30°C	41,2	0,019290	8,90
	50°C	45,8	0,026920	3,59

Com a estimativa da taxa constante k_t , obtida para cada temperatura, e a partir da equação 3.3 (item 3.4.3.), obteve-se a energia aparente de ativação para cada mistura relacionando $\ln(k_t)$ com o inverso da temperatura ($1/T$). As figuras 6.40 a 6.42 apresentam os gráficos de *Arrhenius* obtidos para as diferentes misturas de concreto.

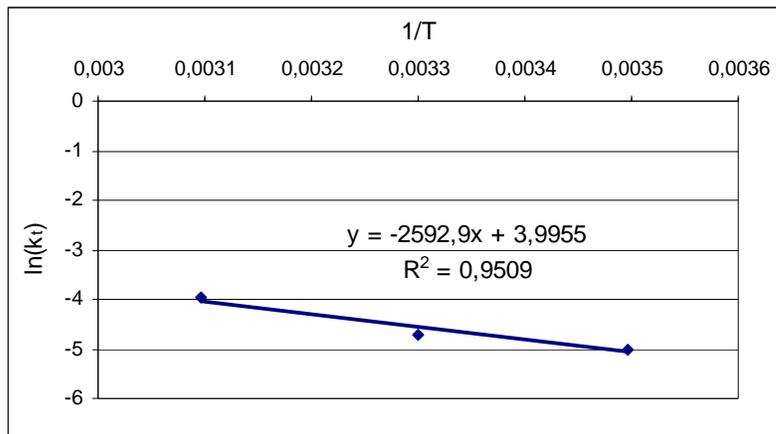


Figura 6.40 – Gráfico de Arrhenius para mistura 20MPa

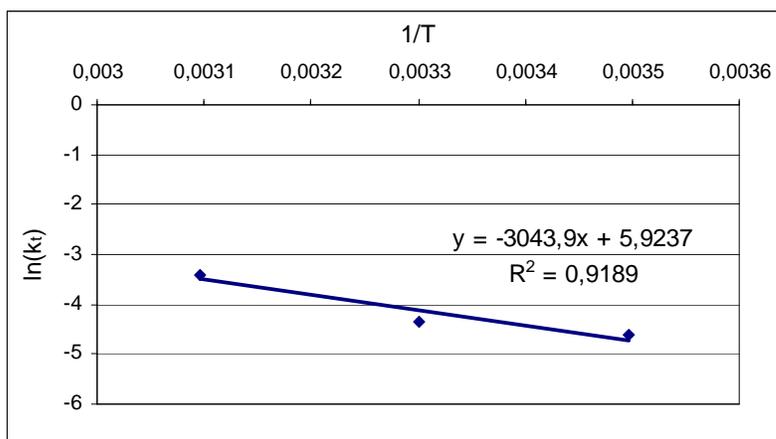


Figura 6.41 - Gráfico de Arrhenius para mistura 25MPa

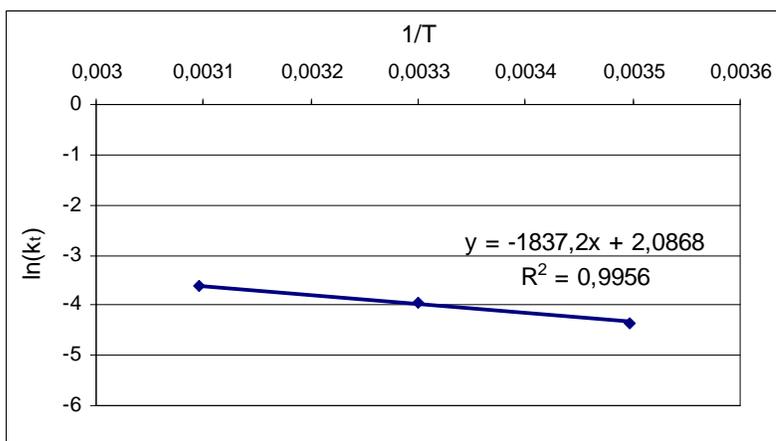


Figura 6.42 - Gráfico de Arrhenius para mistura 30MPa

Os valores de energia aparente de ativação para as diferentes misturas de concreto utilizadas neste trabalho experimental estão descritos na tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Energia aparente de ativação (E_a)

Concreto	E_a (kJ/mol)
20 MPa	21,6
25 MPa	25,3
30 MPa	15,3

Os valores de E_a obtidos foram bastante baixos comparados com os apresentados na tabela 3.1 (item 3.4.3.), indicando que a temperatura tem uma menor influência na taxa de hidratação do cimento com o tempo nas misturas de concreto estudadas. Conforme apresentado na tabela 3.1, Peres *et al.* (2003) encontraram o valor de E_a para mistura de concreto com cimento *CPIV* igual a 50,4kJ/mol, que está bem acima dos valores deste trabalho.

Para maior credibilidade dos resultados, poderiam ser moldados um maior número de corpos-de-prova cúbicos 5x5x5cm de argamassa para serem ensaiados em outras idades e idades mais avançadas, possibilitando assim mais pontos para curva na obtenção dos parâmetros de regressão na utilização da equação hiperbólica linear (equação 3.5).

6.1.4.2 – Idade Equivalente (t_e)

Foi calculada a idade equivalente (t_e) através da função *FHP* (ver capítulo 3, item 3.4.2.). A tabela 6.9 apresenta os resultados obtidos para idade equivalente aos diferentes concretos, os produzidos em laboratório e os aplicados em obra.

Tabela 6.9 - Resultados de t_e para todos os concretos

Concreto	Idade (dias)					
	t_{e1} (horas)	t_{e3} (horas)	t_{e7} (horas)	t_{e14} (horas)	t_{e21} (horas)	t_{e28} (horas)
L-20a	25,4	81,1	173,1	345,2	511,8	674,9
L-25a	27,5	79,6	177,8	365,2	566,1	763,4
L-30a	24,5	73,7	150,0	335,0	522,8	700,5
L-20b	25,2	77,7	176,6	353,2	511,7	659,5
L-25b	27,2	75,2	172,8	355,8	548,9	737,1
L-30b	24,5	73,3	148,0	329,0	509,9	689,0
E01-30	31,9	88,5	186,3	351,4	527,3	-
E02-30	29,5	90,8	207,5	423,4	638,6	858,0

As figuras 6.43 a 6.45 mostram a idade equivalente em função do tempo para os concretos das etapas 1 e 2.

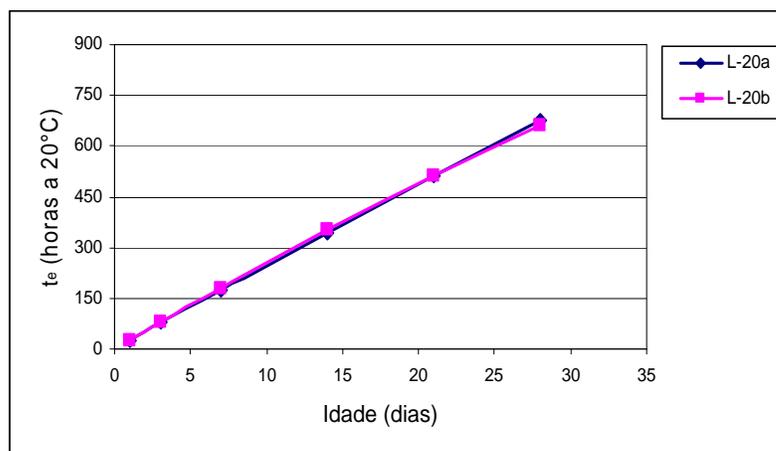


Figura 6.43 – Idade equivalente em função do tempo para concreto 20MPa

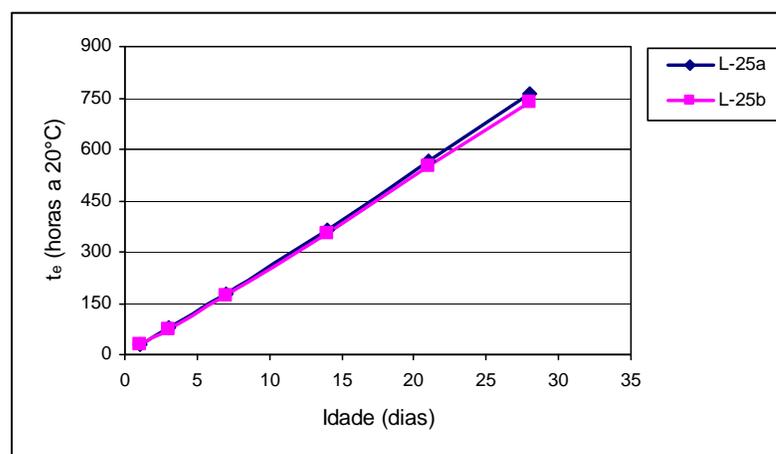


Figura 6.44 – Idade equivalente em função do tempo para concreto 25MPa

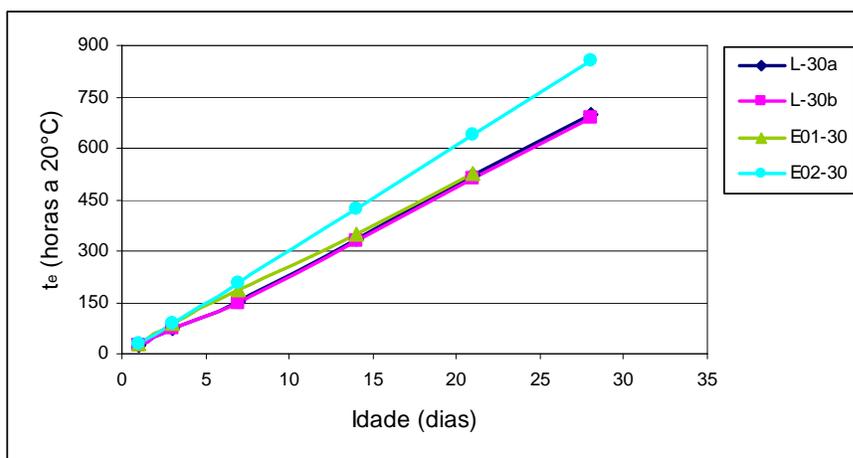


Figura 6.45 – Idade equivalente em função do tempo para concreto 30MPa das etapas 1 e 2

A linearidade das curvas apresentadas nas figuras acima (figuras 6.43 a 6.45) indica que a temperatura não variou grandemente, conforme pode ser visto nas figuras 5.13 a 5.18 do capítulo anterior. Na figura 6.45 verifica-se que a curva *E01-30* não se apresenta linear, já que o perfil de temperaturas, conforme figura 5.19, teve maior variação nas idades iniciais. Da mesma forma, verifica-se que as misturas apresentaram relações semelhantes entre t_e e t , evidenciando temperaturas de obra similares. A exceção se dá para a mistura *E02-30*, que sofreu temperaturas mais elevadas.

As idades equivalentes obtidas na 1ª etapa (etapa laboratorial), apresentadas na tabela 6.9, foram correlacionadas com resistência à compressão das referentes misturas de concreto. As figuras 6.46 a 6.48 apresentam as curvas de correlação entre idade equivalente (horas a 20°C) e resistência à compressão das misturas de concreto estudadas, nos diferentes processos de cura.

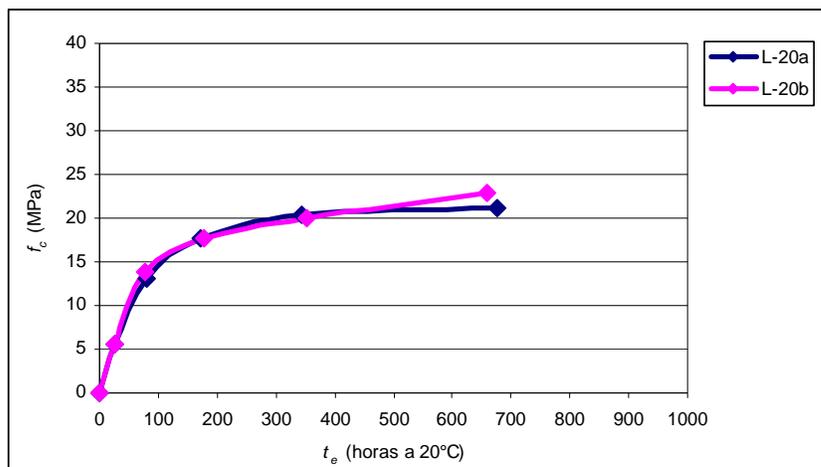


Figura 6.46 – Correlação entre t_e e f_c para mistura de 20MPa cura ao ar e úmida

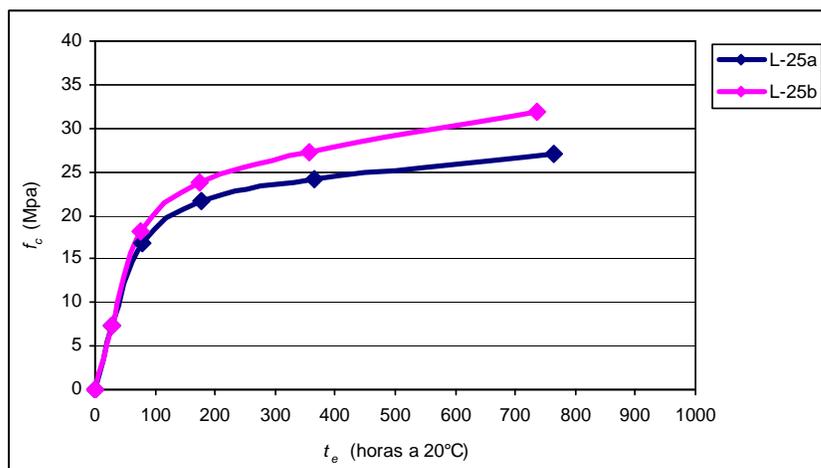


Figura 6.47 - Correlação entre t_e e f_c para mistura de 25MPa cura ao ar e úmida

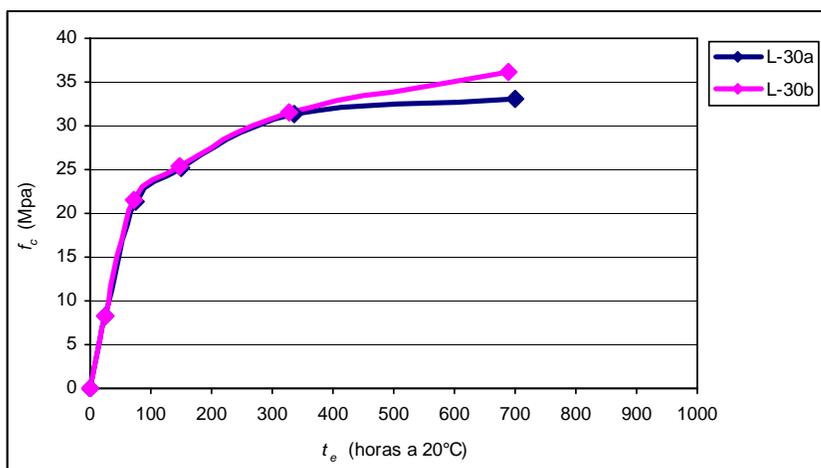


Figura 6.48 - Correlação entre t_e e f_c para mistura de 30MPa cura ao ar e úmida

6.1.5 – Métodos Combinados

A combinação dos métodos de ensaios não destrutivos visa aumentar a confiabilidade na estimativa da resistência à compressão. São apresentadas equações para combinação entre os métodos de esclerometria e ultra-som para correlação com a resistência à compressão.

6.1.5.1 – Método Combinado de Ultra-som e Esclerometria

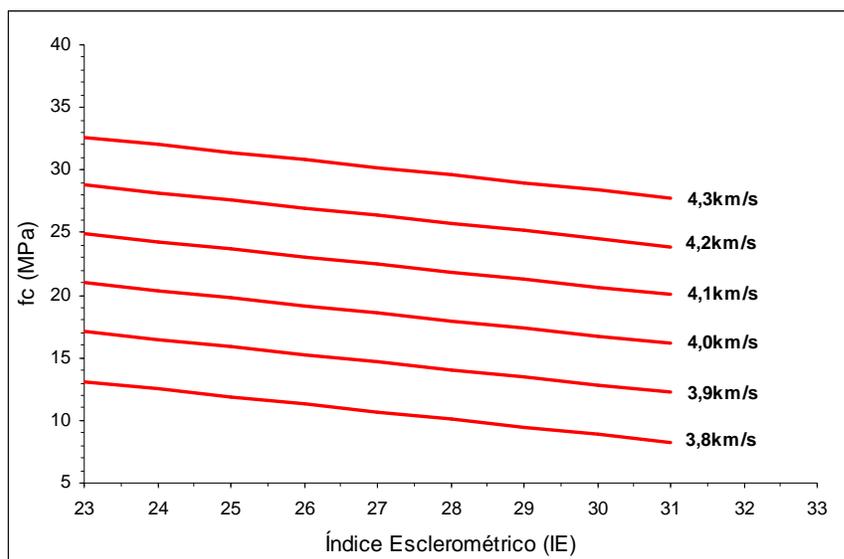
Para a combinação foram utilizados os dados dos ensaios de ultra-som e esclerometria conforme a possível utilização em obra. Optou-se pelos dados obtidos através do método direto nos corpos-de-prova prismáticos e laje, e pela aplicação horizontal do esclerômetro nos corpos-de-prova cilíndricos, pelo fato de serem semelhantes aos ensaios se aplicados em estruturas de concreto *in loco*, como no caso de pilares, onde são possíveis a execução do ensaio de ultra-som no método direto e o ensaio de esclerometria com o esclerômetro na horizontal, além de que as camadas de concretagem de um pilar serem semelhantes as dos corpos-de-prova, conforme a aplicação dos ensaios em laboratório.

As equações e seus respectivos valores de r^2 estão apresentados na tabela 6.10. Estas equações são a combinação de potência (utilizada para o ultra-som) e linear (utilizada na esclerometria). Como esperado, os valores de r^2 das equações do método combinado de esclerometria e ultra-som deram maiores que os valores de r^2 das equações de esclerometria e ultra-som separadamente.

Tabela 6.10 – Equações propostas para correlação entre $f_c \times V \times IE$

Relação	Concreto	Equação	r^2
$f_c \times V \times IE$	L-20a	$f_c = -139,267 + 0,10169 * V^{0,8977} - 0,6076 * IE$	0,996
	L-20b	$f_c = -122,374 + 0,19537 * V^{0,66136} + 4,227 * IE$	0,966
	L-25a	$f_c = -35,055 + 0,04949 * V^{0,55445} + 2,01487 * IE$	0,960
	L-25b	$f_c = -73,5635 + 0,07779 * V^{0,802} + 1,5572 * IE$	0,968
	L-30a	$f_c = -133,1912 + 0,13307 * V^{0,84564} + 0,30946 * IE$	0,991
	L-30b	$f_c = -53,3325 + 0,006648 * V^{1,01757} + 1,93936 * IE$	0,959

As figuras 6.49 a 6.54 apresentam os ábacos de correlação feitos através das equações acima. Estas equações foram obtidas através de uma ferramenta computacional de regressão múltipla, o *TableCurve 3D v2*.

Figura 6.49 – Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 20MPa cura ao ar através de IE e V

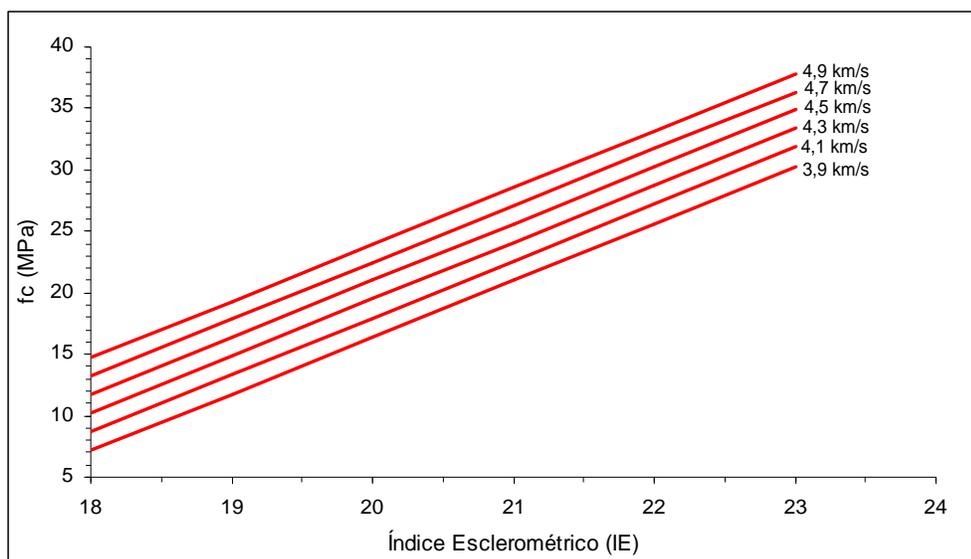


Figura 6.50 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 20MPa cura úmida através de IE e V

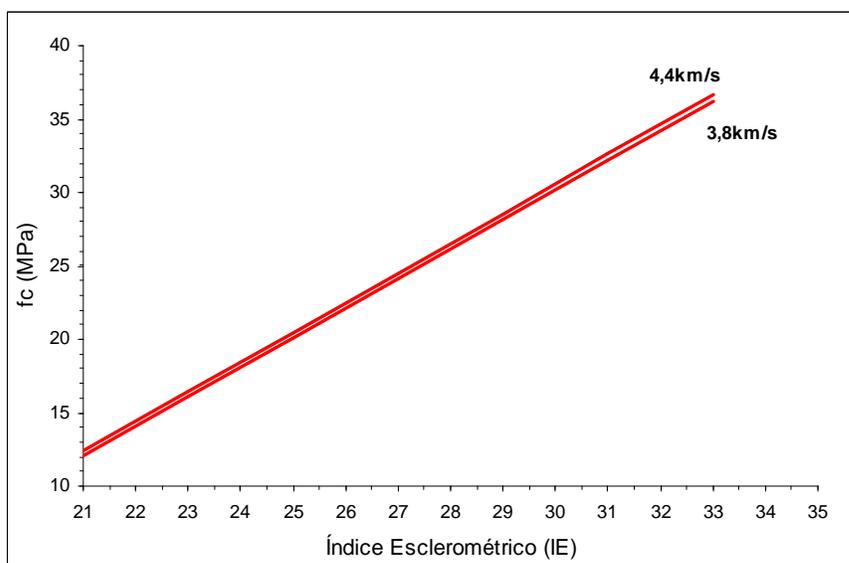


Figura 6.51 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 25MPa cura ao ar através de IE e V

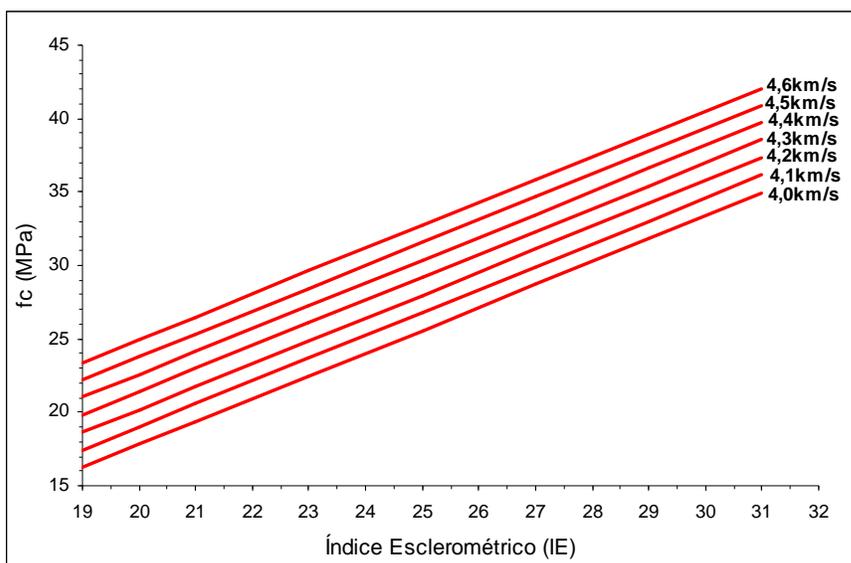


Figura 6.52 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 25MPa cura úmida através de IE e V

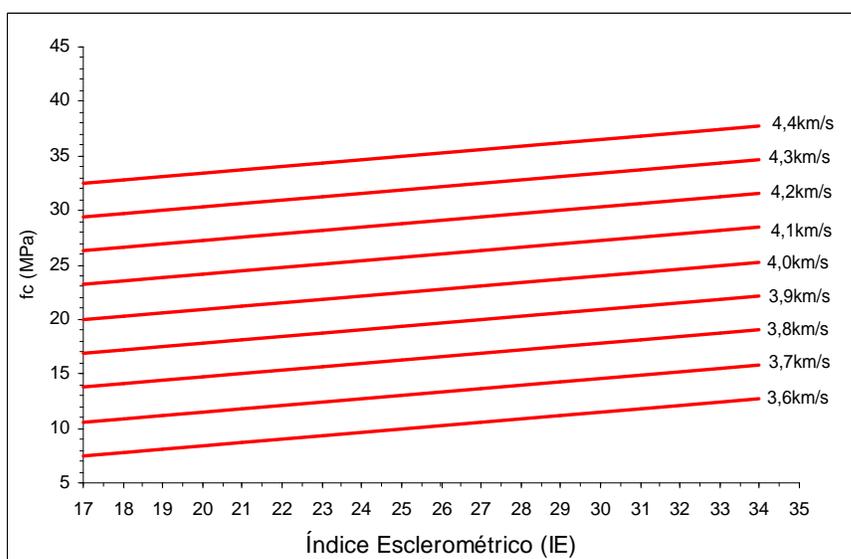


Figura 6.53 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 30MPa cura ao ar através de IE e V

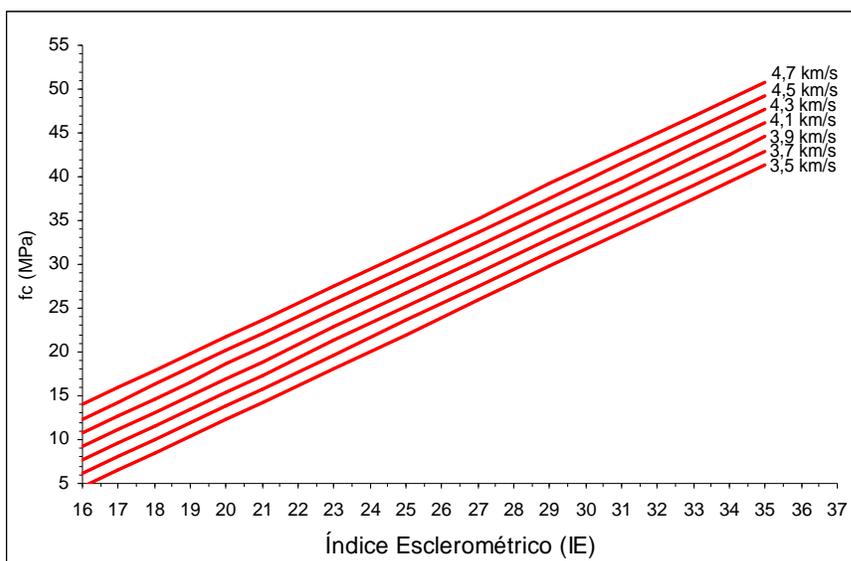


Figura 6.54 - Ábaco proposto para estimar f_c na mistura de 30MPa cura úmida através de IE e V

Na utilização dos ensaios não destrutivos *in loco*, corpos-de-prova cilíndricos foram também moldados junto aos pilares. Desta forma utilizou-se também o método combinado para estimar a resistência desses cilindros. Entretanto, fez-se necessária a utilização de uma nova curva de correlação utilizando os resultados que correlacionasse ultra-som com aplicação direta em corpos-de-prova cilíndricos e esclerometria com aplicação horizontal. A expressão obtida através do *TableCurve 3D v2* é apresentada na equação 6.1.

$$f_c = 210,5336 - 2357,997 * V^{-0,2923} + 0,69393 * IE \quad \text{Equação 6.1}$$

6.2 – 2ª ETAPA

A 2ª etapa compreende na análise dos resultados de ensaios não destrutivos feitos nas Obras 01 e 02, comparando resultados e aplicando as correlações feitas através dos ensaios laboratoriais.

6.2.1 – Resistência à Compressão

Nas obras foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, deixados em cura ao ar próximo da estrutura a ser ensaiada, e testados à compressão aos 7 e 28 dias. Além

destes resultados, obteve-se também os resultados pela concreteira a partir de 2 corpos-de-prova ensaiados à compressão aos 28 dias, sendo estes deixados em cura úmida. A comparação dos resultados obtidos através destes corpos-de-prova moldados em obra e os moldados em laboratório estão nas figuras 6.55 e 6.56.

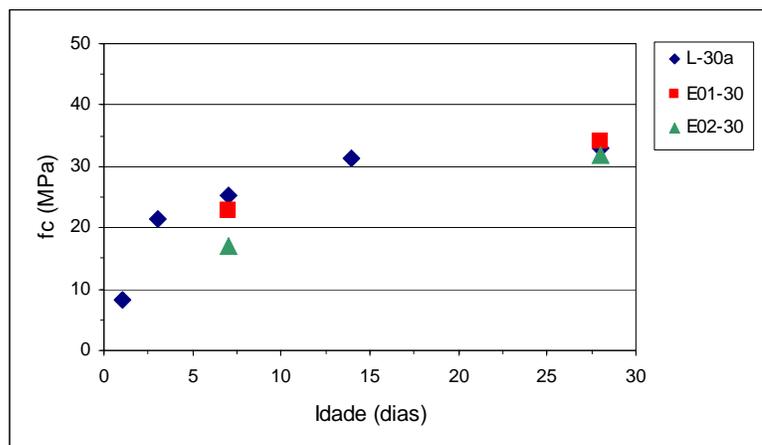


Figura 6.55 – Comparação de f_c da 1ª e 2ª etapa da mistura 30MPa cura ao ar

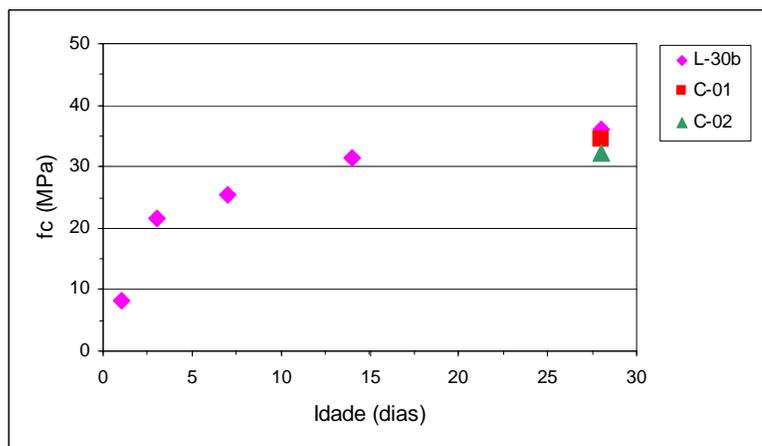


Figura 6.56 - Comparação de f_c da 1ª e 2ª etapa da mistura 30MPa cura úmida

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias dos corpos-de-prova da 2ª etapa ficaram bastante próximos aos da 1ª etapa, com no máximo 4% de diferença. Porém, os resultados aos 7 dias apresentaram diferenças significativas. Na Obra 01, o resultado de resistência à compressão ficou 11% inferior aos resultados obtidos em laboratório, e na Obra 02, 49% inferior.

6.2.2 – Velocidade de Propagação das Ondas Ultra-sônicas

Conforme descrito anteriormente, os pilares tiveram cura ao ar e os corpos-de-prova moldados *in loco* foram deixados próximos aos pilares. Para ambos, pilares e corpos-de-prova, o método de ensaio de ultra-som foi o direto.

Foi utilizada a equação de correlação do método direto do ultra-som em corpos-de-prova prismáticos deixados em cura ao ar, já apresentada na tabela 6.2 (*UPD L-30a*) e transcrita aqui como equação 6.2, para estimar os valores de f_c nos pilares. É utilizada esta equação pela semelhança de aplicação do ultra-som nos prismas e nos pilares. As camadas de concretagem, em ambos os casos, ficam dispostas paralelamente à propagação da onda durante a aplicação direta do ultra-som. Por outro lado, para estimar os valores de f_c nos corpos-de-prova cilíndricos moldados *in loco*, utilizou-se a equação de correlação do método direto do ultra-som em corpos-de-prova cilíndricos deixados em cura ao ar, também apresentada na tabela 6.2 (*UCD L-30a*) e transcrita aqui como equação 6.3.

$$f_c = 1,797E^{-20} * V^{8,3399} \quad \text{Equação 6.2}$$

$$f_c = 2,816E^{-20} * V^{5,743} \quad \text{Equação 6.3}$$

A figura 6.57 mostra como exemplo o procedimento para estimativa da resistência à compressão para os pilares da Obra 01 através do ensaio de velocidade de propagação da onda ultra-sônica por meio da equação 6.2.

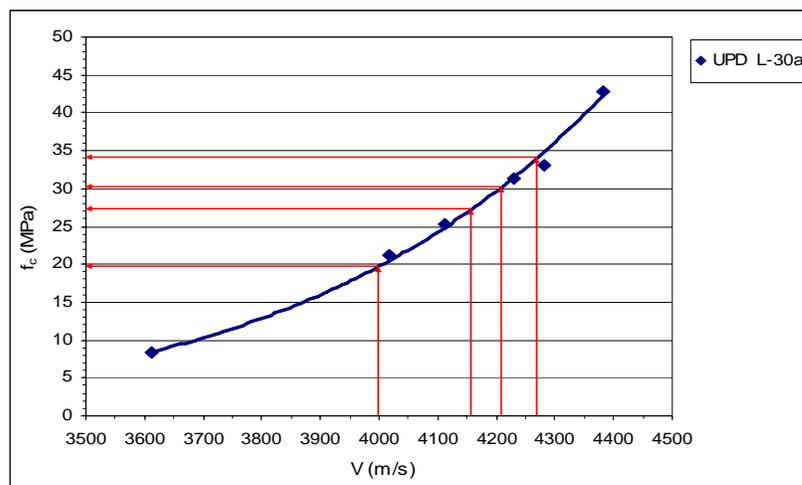


Figura 6.57 – Obtenção de f_c por meio de V para os pilares da Obra 01

As tabelas 6.11 e 6.12 apresentam os resultados estimados de f_c a partir das velocidades de ultra-som obtidas para os pilares e os corpos-de-prova deixados *in loco*, referentes às Obras 01 e 02, respectivamente. Estas estimativas foram obtidas a partir das equações 6.2 e 6.3.

Tabela 6.11 – Resultados de f_c para a Obra 01 estimados através das equações que relacionam f_c e V

Obra 01				f_c (MPa) Estimado			f_c (MPa) Obtido Cilindros
Idade (dias)	V (m/s) Pilar 01	V (m/s) Pilar 02	V (m/s) Cilindros	Pilar 01	Pilar 02	Cilindros	
				Equação 6.2	Equação 6.2	Equação 6.3	
7	4047	4005	4346	21,8	19,9	22,0	22,7
14	4130	4179	-	25,8	28,4	-	-
21	4193	4226	-	29,2	31,2	-	-
28	4254	4280	4634	33,0	34,7	31,9	34,0

Tabela 6.12 - Resultados de f_c para a Obra 02 estimados através das equações que relacionam f_c e V

Obra 02				f_c (MPa) Estimado			f_c (MPa) Obtido Cilindros
Idade (dias)	V (m/s) Pilar 01	V (m/s) Pilar 02	V (m/s) Cilindros	Pilar 01	Pilar 02	Cilindros	
				Equação 6.2	Equação 6.2	Equação 6.3	
7	4205	4305	4300	29,9	36,4	20,7	17,0
14	4296	4397	-	35,8	43,5	-	-
21	4286	4411	-	35,1	44,6	-	-
28	4356	4437	4522	40,2	46,9	27,7	31,7

Para a Obra 01, ao comparar os valores de resistência estimados para os CP's através do ultra-som com os valores obtidos, observa-se uma diferença da ordem de

3% aos 7 dias e 6% aos 28 dias. Esta proximidade dos valores indica a semelhança entre a mistura utilizada em obra com a de laboratório, como também a semelhança do processo de cura.

Ao comparar os valores estimados de resistência para o Pilar 01 da Obra 01 com os valores obtidos nos CP's, tem-se uma diferença da ordem de 4% aos 7 dias e 3% aos 28 dias. Para o Pilar 02, 10% aos 7 dias e 2% aos 28 dias. Considera-se, portanto, que a resistência estimada para o Pilar 02 da Obra 01 estaria em torno de 20MPa aos 7 dias, um pouco inferior a resistência dos CP's, identificando uma possível pequena diferença entre os processos de cura. Os valores encontrados indicam a aplicabilidade da equação de correlação do método de ultra-som na obra.

Para a Obra 02, ao comparar os valores de resistência estimados para os CP's através do ultra-som com os valores obtidos, observa-se uma diferença bem maior, de 22% aos 7 dias e de 13% aos 28 dias. As diferenças entre os valores estimados com os valores obtidos foram, de um modo geral, superiores às encontradas na Obra 01, mas convém observar que, a estimativa aos 7 dias é superior ao valor estimado, enquanto que aos 28 dias é um valor inferior. Este comportamento diferenciado sugere que a mistura utilizada na Obra 02 pode ter sido diferente da mistura aplicada em laboratório para obtenção das correlações aqui utilizadas.

Ao comparar os valores estimados de resistência para os pilares da Obra 02 com os valores obtidos, têm-se diferenças ainda maiores, sendo os valores estimados bem acima dos obtidos, indo na ordem de 40MPa no Pilar 01 e 47MPa no Pilar 02 aos 28 dias, reforçando ainda mais a hipótese de que a mistura utilizada tenha sido diferente, já que não havia nenhum indicativo de uma diferença sensível de cura. Portanto, a aplicação da equação obtida em laboratório não é indicada a esta obra.

6.2.2.1 – Intervalos de Confiança – Ultra-som

Aplicando uma análise estatística de intervalos de confiança, com nível de confiança de 95%, utilizando os dados de velocidade das ondas ultra-sônicas em corpos-de-prova prismáticos com aplicação direta, e os resultados de resistência à compressão, é possível verificar se os dados coletados nas obras estão dentro da faixa

de valores aceitáveis ou, se foram afetados por outros fatores, diferentes das condições laboratoriais.

As figuras 6.58 e 6.59 mostram os intervalos de confiança para valores individuais e médios coletados em laboratório, e os valores médios da relação velocidade da onda ultra-sônica e compressão dos pilares 01 e 02, das obras 01 e 02, respectivamente.

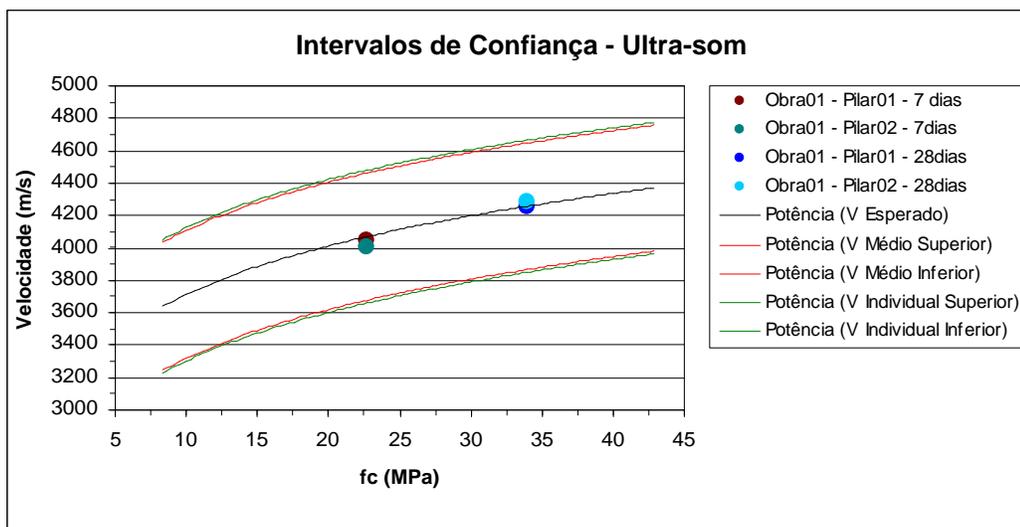


Figura 6.58 – Intervalos de Confiança - Ultra-som Obra 01

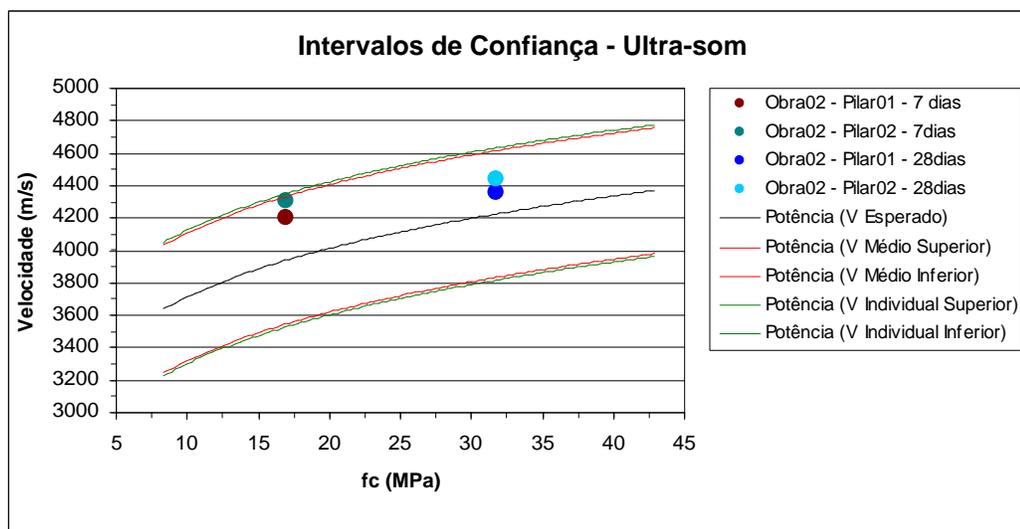


Figura 6.59 – Intervalos de Confiança - Ultra-som Obra 02

Para a Obra 01, os valores obtidos em obra estão muito próximos aos valores esperados. Esta proximidade dos valores indica a semelhança entre a mistura utilizada em obra com a de laboratório e a semelhança do processo de cura, como já citado anteriormente, reafirmando a aplicabilidade da correlação obtida do método do ultrassom na obra.

Para a Obra 02, a média dos valores obtidos nos pilares 01 e 02, aos 7 e 28 dias, ficaram afastados dos valores esperados, porém dentro do intervalo de confiança para valores médios, sendo que a maior diferença foi aos 7 dias. Como descrito anteriormente, a mistura de concreto aplicada na Obra 02 pode ter sido diferente da mistura aplicada em laboratório para obtenção das correlações.

6.2.3 – Índice Esclerométrico

Para obtenção da resistência à compressão através das leituras com esclerômetro nas estruturas das Obras 01 e 02, utilizou-se a correlação obtida em laboratório através do uso do esclerômetro na posição horizontal, como utilizado nos pilares. A equação que faz esta correlação está apresentada na tabela 5.5 (*ECH L-30a*) e transcrita aqui como equação 6.4.

$$f_c = 2,0472 * IE - 25,502 \quad \text{Equação 6.4}$$

A figura 6.58 mostra como exemplo o procedimento para obtenção da resistência à compressão para a Obra 01 por meio dos índices esclerométricos com o uso da curva da equação 6.4.

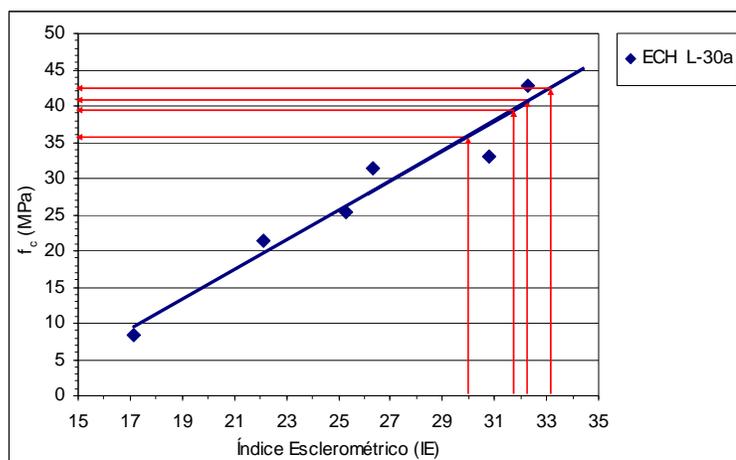


Figura 6.60 - Obtenção de f_c por meio de IE da Obra 01

As tabelas 6.13 e 6.14 apresentam os resultados estimados de f_c a partir dos índices esclerométricos obtidos nos pilares e corpos-de-prova deixados *in loco*, referentes as Obras 01 e 02, respectivamente. Estas estimativas foram obtidas a partir da equação 6.4.

Tabela 6.13 - Resultados de f_c para a Obra 01 estimados através da equação que relaciona f_c e IE

Obra 01				f_c (MPa) Estimado			f_c (MPa) Obtido Cilindros
Idade (dias)	IE Pilar 01	IE Pilar 02	IE Cilindros	Equação 6.4			
				Pilar 01	Pilar 02	Cilindros	
7	28,4	31,6	25,5	32,6	39,2	26,7	22,7
14	32,3	32,1	-	40,6	40,2	-	-
21	34,0	32,3	-	44,1	40,6	-	-
28	34,3	34,4	31,5	44,7	44,9	39,0	34,0

Tabela 6.14 - Resultados de f_c para a Obra 02 estimados através da equação que relaciona f_c e IE

Obra 02				f_c (MPa) Estimado			f_c (MPa) Obtido Cilindros
Idade (dias)	IE Pilar 01	IE Pilar 02	IE Cilindros	Equação 6.4			
				Pilar 01	Pilar 02	Cilindros	
7	25,7	29,5	21,8	27,1	34,9	19,1	17,0
14	30,3	30,8	-	36,5	37,6	-	-
21	31,3	31,2	-	38,6	38,4	-	-
28	31,9	34,4	-	39,8	44,9	-	31,7

Para a Obra 01, ao comparar os valores de resistência estimados para os CP's através do esclerômetro com os valores obtidos, observa-se uma diferença da ordem

de 18% aos 7 dias e 15% aos 28 dias. Estes valores estão acima dos valores de diferença observados no ultra-som.

Ao comparar os valores estimados de resistência para os pilares da Obra 01 com os valores obtidos, tem-se uma diferença aos 7 dias da ordem de 22% para o Pilar 01 e 47% para o Pilar 02. Aos 28 dias têm-se 32% para os Pilares 01 e 02. Esta alta diferença dos valores encontrados pode ser indicativo de uma influência do material utilizado nas fôrmas na dureza superficial dos pilares. Fôrmas de madeira compensada, como utilizadas nos pilares, absorvem a umidade do concreto, produzindo uma camada superficial mais dura e, portanto, índices esclerométricos mais altos do que os obtidos em concretos moldados em fôrmas metálicas, usadas nos cilindros, conforme cita o Comitê 228.1R de ACI (2003).

Para obtenção de curvas de correlação mais satisfatórias, seria indicado a moldagem de corpos-de-prova em laboratório através de fôrmas de madeira, como as utilizadas nas obras, as quais deveriam ser desmoldadas em idade igual a idade de desmoldagem dos pilares.

Para a Obra 02, ao comparar os valores de resistência estimados para os CP's através do esclerômetro com os valores obtidos, observa-se uma diferença da ordem de 12% aos 7 dias. Aos 28 dias não foi possível a execução do ensaio, conforme descrito no item 4.4.3 deste trabalho.

Da mesma forma que na obra 01, observa-se não ser possível a aplicação do método de esclerometria na Obra 02, pois as leituras podem ter sido influenciadas pela dureza superficial dos pilares, por terem apresentado diferenças bastante grandes entre os valores estimados e valores obtidos.

6.2.3.1 – Intervalos de Confiança – Esclerometria

Como feito para ultra-som, aplicando também uma análise estatística de intervalos de confiança, com nível de confiança de 95%, aos índices esclerométricos em relação a resistência à compressão obtidos em laboratório, é possível fazer uma

análise da aceitabilidade dos valores obtidos em obra, em comparação aos laboratoriais.

As figuras 6.61 e 6.62 mostram os intervalos de confiança para os valores individuais e médios coletados em laboratório, e os valores médios da relação entre índice esclerométrico e resistência à compressão dos pilares 01 e 02, das obras 01 e 02, respectivamente.

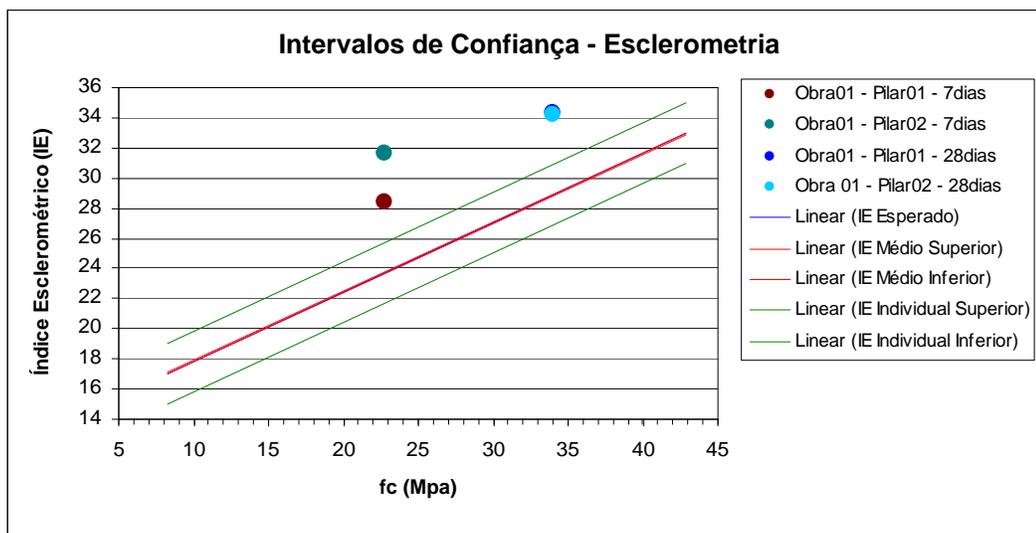


Figura 6.61 – Intervalos de Confiança – Esclerometria Obra 01

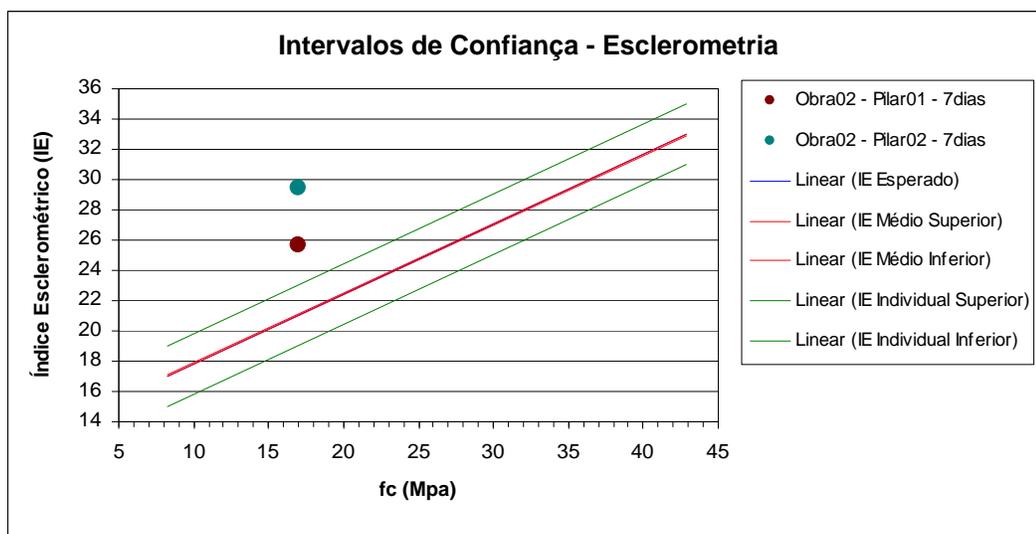


Figura 6.62 – Intervalos de Confiança – Esclerometria Obra 02

Para a Obra 01, os valores obtidos através dos ensaios nos pilares 01 e 02, tanto aos 7, como aos 28 dias, ficaram fora dos intervalos de confiança. Isto vem reafirmar o descrito anteriormente, sobre a influência do material utilizado nas fôrmas na dureza superficial dos pilares.

Da mesma forma que na obra 01, os valores ficaram fora do intervalo de confiança, mostrando não ser possível a aplicação do método de esclerometria na Obra 02.

6.2.4 – Método Combinado de Esclerometria e Ultra-som

A equação de correlação do método combinado, utilizada para estimar a resistência dos pilares, é a equação 6.5 (descrita na tabela 6.10). Para estimar a resistência através do método combinado para os CP's moldados *in loco*, foi preciso utilizar outra equação, a equação 6.1 (descrita no item 6.1.6.1. e transcrita neste item), obtida através dos valores de V e IE em corpos-de-prova cilíndricos curados ao ar, com aplicação direta do ultra-som e esclerômetro na horizontal.

$$f_c = -133,1912 + 0,13307 * V^{0,8456} + 0,30946 * IE \quad \text{Equação 6.5}$$

$$f_c = 210,5336 - 2357,997 * V^{-0,2923} + 0,69393 * IE \quad \text{Equação 6.1}$$

A figura 6.59 mostra como exemplo o procedimento para obtenção da resistência à compressão para os pilares da Obra 01 por meio do método combinado com o uso da curva da equação 6.5.

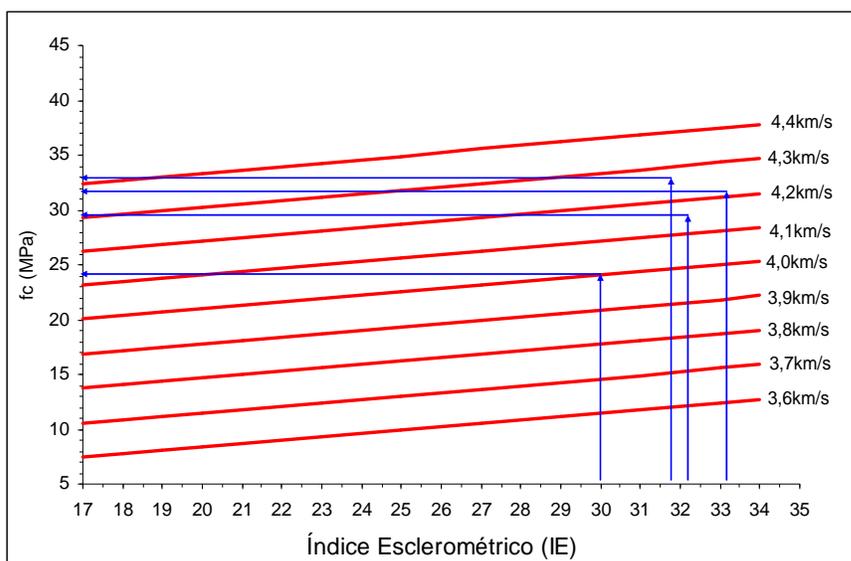


Figura 6.63 - Obtenção de f_c por meio de IE e V (método combinado) da Obra 01

A tabela 6.15 apresenta os resultados estimados de f_c a partir dos índices esclerométricos e velocidades das ondas ultra-sônicas obtidos nos pilares e corpos-de-prova deixados *in loco*, referentes a Obra 01. Estas estimativas foram obtidas a partir das equações 6.1 e 6.5.

Tabela 6.15 - Resultados de f_c para a Obra 01 estimados através da equação que relaciona f_c , IE e V

Obra 01							f_c (MPa) Estimado			f_c (MPa) Obtido Cilindros
Idade (dias)	IE Pilar 01	IE Pilar 02	IE Cilindros	V (m/s) Pilar 01	V (m/s) Pilar 02	V (m/s) Cilindros	Pilar 01	Pilar 02	Cilindros	
							Equação 6.5	Equação 6.5	Equação 6.1	
7	28,4	31,6	25,5	4047	4005	4346	25,0	24,7	24,4	22,7
14	32,3	32,1	-	4130	4179	-	28,8	30,3	-	-
21	34,0	32,3	-	4193	4226	-	31,3	31,8	-	-
28	34,3	34,4	31,5	4254	4280	4634	33,3	34,1	32,4	34,0

Ao comparar os valores de resistência estimados para os CP's através do método combinado com os valores obtidos, observa-se uma diferença de 7,5% aos 7 dias e 4,7% aos 28 dias.

Comparando os valores estimados de resistência para os pilares com os valores obtidos, tem-se uma diferença em torno de 10% para o Pilar 01 e 9% para o Pilar 02, aos 7 dias e, aos 28 dias, 2% para o Pilar 01 e nenhuma diferença para o Pilar 02.

As diferenças constatadas pelo método do esclerômetro refletem-se no método combinado, apresentando diferenças entre os valores estimados e obtidos pouco superiores para o método combinado, quando comparados com os valores de ultrassom.

Neste item não são analisados os dados da Obra 02 devido a hipótese de que a mistura de concreto utilizada nesta obra não seja a mesma que a utilizada em laboratório, não sendo indicado o uso das equações de correlação, conforme descrito no item 6.2.2.

6.2.5 – Método da Maturidade

Para obtenção da resistência à compressão através do monitoramento de temperatura nas Obras 01 e 02, aplicou-se a curva de idade equivalente obtida através dos ensaios laboratoriais para os corpos-de-prova da mistura 30MPa com cura ao ar (figura 6.48, curva L-30a).

As figuras 6.60 e 6.61 mostram o procedimento para obtenção da resistência à compressão por meio da correlação entre t_e e f_c e a tabela 6.17 descreve os resultados de f_c estimados de acordo com as idades equivalentes (horas a 20°C) do concreto *in loco*, e os resultados de resistência à compressão obtidos através dos ensaios dos corpos-de-prova cilíndricos moldados na obra, para as Obras 01 e 02.

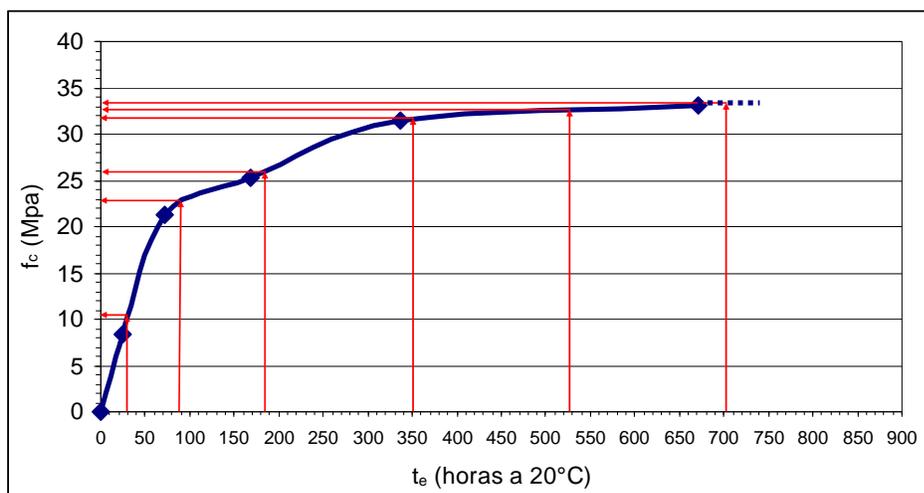


Figura 6.64 - Obtenção de f_c por meio da idade equivalente (horas a 20°C) na Obra 01

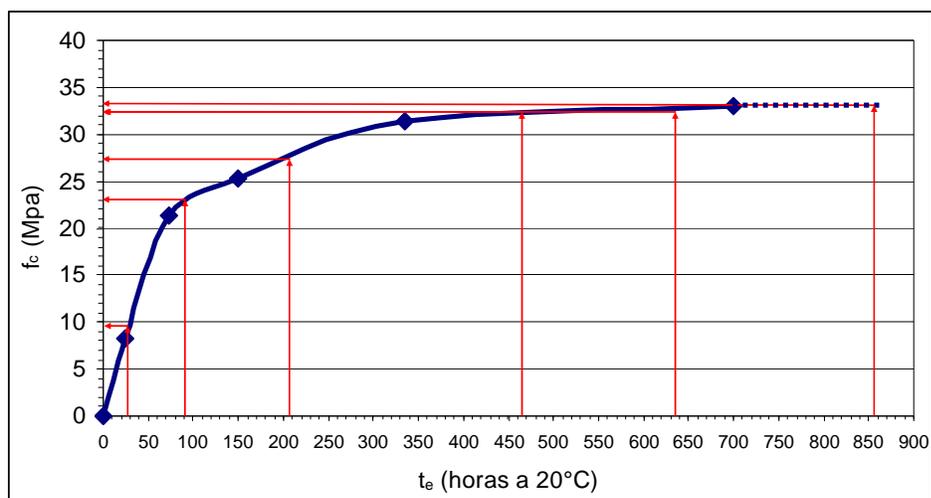


Figura 6.65 - Obtenção de f_c por meio da idade equivalente (horas a 20°C) na Obra 02

Tabela 6.16 - Resultados de f_c estimados para os pilares através da curva de maturidade

Obra:	Obra 01			Obra 02		
Idade (dias)	t_e (horas)	f_c (MPa) Estimado	f_c (MPa) Obtido	t_e (horas)	f_c (MPa) Estimado	f_c (MPa) Obtido
1	31,9	10,2	-	29,5	9,5	-
3	88,5	22,4	-	90,8	23,1	-
7	186,3	26,8	22,7	207,5	27,4	17,0
14	351,4	31,6	-	423,4	32,1	-
21	527,3	32,6	-	638,6	32,5	-
28	-	-	34,0	858,0	33,1	31,7

Na Obra 01, o resultado de resistência estimado através da idade equivalente apresentou um valor 18% maior aos 7 dias em relação ao obtido através dos ensaios à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos moldados *in loco*. Não é possível comparar o resultado aos 28 dias pelo fato de que o monitoramento da temperatura ocorreu até os 21 dias de idade, conforme já descrito, porém, ao observar a tendência da curva de correlação entre t_e e f_c e considerando um acréscimo de t_e da mesma intensidade ocorrida entre os 14 e 21 dias, aos 28 dias a idade equivalente seria possivelmente em torno de 700 horas (conforme mostrado na figura 6.61), que corresponderia a valores de resistência em torno de 33MPa na curva de maturidade, aproximando-se do valor obtido de 34MPa.

Na Obra 02, aos 7 dias o valor estimado ficou bem acima do esperado. Já aos 28 dias os valores ficaram bastante próximos, considerando uma tendência contínua da

curva de maturidade, conforme ajustado na figura 6.62. A grande diferença entre os valores estimados e obtidos aos 7 dias, evidencia o que já foi discutido no item 6.2.2., quando da aplicação do método de ultra-som, de que a mistura de concreto utilizada na Obra 02 pode ter sido diferente da mistura utilizada em laboratório para obtenção das curvas de correlação, e portanto apresentar uma sensibilidade a temperatura (E_a) diferente, o que ocasionaria uma curva $f_c \times t_e$ diferente da obtida.

6.2.6 – Comparação entre Métodos

A figura 6.62 compara os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova estimados através das curvas de correlação de ultra-som, esclerometria, métodos combinados e maturidade, com os resultados obtidos nos corpos-de-prova cilíndricos moldados *in loco*, da Obras 01.

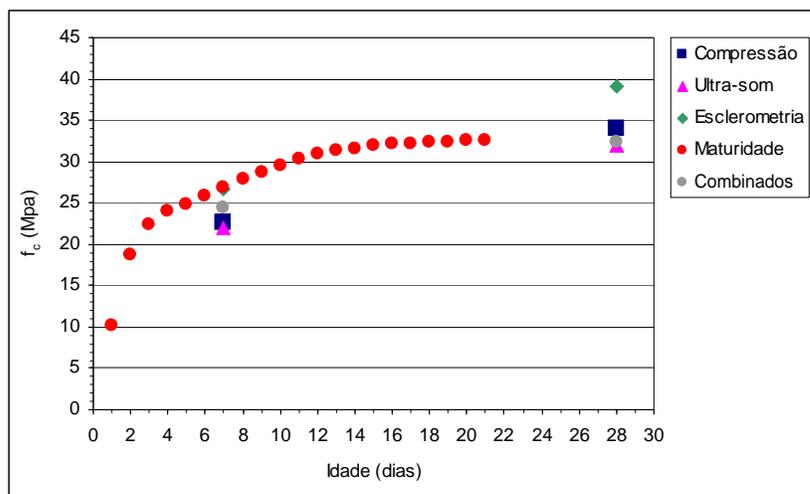


Figura 6.66 – Resultados de f_c estimados e obtidos para os CP da Obra 01

Verifica-se que as resistências estimadas através do método combinado de ultra-som e esclerometria e o método de ultra-som foram as que mais se aproximaram dos valores obtidos pelo ensaio à compressão, sendo que aos 7 dias o valor estimado pelo ultra-som foi o mais próximo do obtido. Ao contrário, os que mais se afastaram foram os valores de resistência estimados pelo ensaio de esclerometria. Quanto a curva de maturidade, apesar de aos 7 dias apresentar uma certa diferença do valor

obtido, a tendência para os 28 dias, se a temperatura fosse monitorada, seria de valor estimado próximos ao valor de resistência obtido, conforme já descrito no item anterior.

As estimativas de resistência para os Pilares 01 e 02, da Obra 01, através dos métodos de ensaios não destrutivos, estão apresentadas nas tabelas 6.17 e 6.18, respectivamente.

Tabela 6.17 – Valores de f_c estimados para o Pilar 01 da Obra 01

Idade (dias)	f_c estimada para Pilar 01 (MPa)				f_c (MPa) Obtida Cilindros
	Ultra-som	Esclerometria	Combinados	Maturidade	
7	21,8	32,6	25,0	26,8	22,7
14	25,8	40,6	28,8	31,6	-
21	29,2	44,1	31,3	32,6	-
28	33,0	44,7	33,3	33,0	34,0

Tabela 6.18 - Valores de f_c estimados para o Pilar 02 da Obra 01

Idade (dias)	Resistência estimada para Pilar 02 (MPa)			f_c (MPa) Obtida Cilindros
	Ultra-som	Esclerometria	Combinados	
7	19,9	39,2	24,7	22,7
14	28,4	40,2	30,3	-
21	31,2	40,6	31,8	-
28	34,7	44,9	34,1	34,0

6.2.7 – Considerações Finais

Os resultados estimados através da aplicação dos métodos de ensaios não destrutivos para a Obra 01 comprovam a aplicabilidade das curvas obtidas em laboratório em obras que utilizem as misturas testadas.

Os resultados estimados para a Obra 02 levantam a hipótese de que a mistura utilizada na obra tenha sido diferente da mistura utilizada em laboratório, não podendo ser aplicadas as curvas de correlação obtidas.

O procedimento em obra para a utilização dos ensaios não destrutivos indica a viabilidade da aplicação das curvas, que poderiam ter melhores resultados após tomar alguns cuidados como: a moldagem de mais corpos-de-prova cilíndricos na obra para

serem ensaiados em idades diferentes, juntamente com as estruturas ensaiadas *in loco*; o monitoramento da temperatura poderia ser feito em pilares diferentes simultaneamente, ao invés de apenas um; evitar leituras imprecisas com a utilização de equipamentos instalados *in loco*, instalando-os e programando-os corretamente.

7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 – CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados, além da revisão bibliográfica sobre ensaios não destrutivos, resultados de um programa experimental que se dividiu em 2 etapas. Na primeira etapa, corpos-de-prova com resistência característica esperada de 20, 25 e 30MPa foram moldados em laboratório e ensaiados com ultra-som, esclerometria, penetração de pinos e maturidade, em diferentes processos de cura: cura ao ar e cura úmida. Com os dados obtidos, curvas de correlação com a resistência à compressão foram obtidas. Na segunda etapa, ensaios de ultra-som, esclerometria e maturidade foram realizados em duas obras que empregaram a mistura de concreto de 30MPa, e através dos dados obtidos, foram estimadas as resistências à compressão das peças *in loco* através das curvas obtidas em laboratório.

7.1.1 – 1ª Etapa

- Com os ensaios de resistência à compressão da primeira etapa, observou-se que a cura úmida apresentou uma influência positiva na evolução da resistência à compressão em todas as misturas, com ensaios realizados em corpos-de-prova ainda úmidos.
- Na aplicação do ultra-som, para um mesmo nível de resistência, as ondas percorrem mais rapidamente concretos deixados na cura úmida em relação aos deixados na cura ao ar. Os corpos-de-prova deixados na cura úmida mantiveram-se saturados durante o ensaio, com presença de umidade nos poros, influenciando na velocidade das ondas ultra-sônicas.
- Ao comparar os métodos direto e indireto de aplicação da onda ultra-sônica, para um mesmo nível de resistência, os valores de V foram maiores para o método direto de transmissão em relação ao indireto, conforme esperado, pois no método indireto a onda ultra-sônica se propaga na superfície da peça, camada com alta

concentração de finos, não representando a peça de concreto como um todo. Entretanto, a aplicação indireta do ultra-som apresentou resultados satisfatórios, indicando a possibilidade de ser utilizado nas obras, em locais de difícil acesso, como é o caso das lajes.

- Os valores de velocidade de propagação da onda ultra-sônica nos corpos-de-prova cilíndricos, para todas as misturas estudadas, foram maiores do que nos corpos-de-prova prismáticos, indicando que procedimentos adotados durante a concretagem podem ocasionar diferenças nas leituras. Os cilindros, por serem concretados na vertical, possuem suas camadas de concretagem ortogonalmente dispostas a aplicação dos transdutores para o ensaio de ultra-som. Já os prismas, concretados na horizontal, possuem suas camadas de concretagem paralelas a aplicação dos transdutores. Desta forma, deve-se tomar cuidado quando da utilização destas curvas, procurando utilizar aquela que representar melhor as condições de obra.

- Através do ensaio de ultra-som, observou-se que houve um aumento nos coeficientes de determinação (r^2) das curvas quando os ensaios foram realizados sempre em um mesmo corpo-de-prova, em diferentes idades, em comparação aos ensaios feitos em diferentes corpos-de-prova para cada idade. Diferenças intrínsecas entre as peças acabam influenciando.

- Os índices esclerométricos foram maiores nos concretos com cura ao ar, conforme esperado, pois a dureza de superfície do concreto é menor quando está saturada do que quando está seca. As diferenças obtidas nos dados reforçam a necessidade de se obter diferentes curvas de correlação para diferentes condições superficiais do concreto a ser ensaiado.

- O ensaio de penetração de pinos foi influenciado pela umidade da peça ensaiada. As leituras de penetração de pinos foram maiores nas peças deixadas na cura úmida, em relação às deixadas na cura ao ar.

- Os valores de energia aparente de ativação obtidos para as misturas de concreto foram inferiores aos apresentados na literatura para misturas com mesmo tipo de cimento, indicando que a temperatura das misturas estudadas tem uma menor influência na taxa de hidratação do cimento com tempo.

7.1.2 – 2ª Etapa

- Os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados *in loco* tiveram valores próximos aos encontrados em laboratório, para a Obra 01. Já na Obra 02, o resultado de resistência à compressão aos 7 dias ficou bastante diferente.

- Os valores estimados de resistência através do ultra-som nos CP's moldados *in loco*, também se aproximaram dos valores obtidos através do ensaio à compressão nos pilares da Obra 01.

- A proximidade dos valores estimados para os pilares da Obra 01, através dos ensaios com ultra-som, com os obtidos através dos ensaios à compressão, indica a semelhança entre as misturas utilizadas em laboratório e em obra, podendo ter ocorrido uma possível pequena diferença no processo de cura. Os valores encontrados indicam a aplicabilidade das equações do método de ultra-som em obra.

- Na Obra 02 os resultados tiveram uma grande diferença, indicando que a mistura de concreto utilizada na obra possa ter sido diferente da utilizada em laboratório para gerar as curvas de correlação. Assim, não se aplicam as curvas de correlação para esta obra.

- Com a utilização do esclerômetro, foram encontradas diferenças maiores entre os valores estimados e os obtidos, em relação às diferenças dos valores encontrados através do ultra-som. Esta diferença pode ser consequência do material utilizado como fôrmas na dureza superficial. Para os pilares foram utilizadas fôrmas de madeira compensada, as quais poderiam absorver a umidade do concreto produzindo uma camada superficial mais dura em comparação a camada superficial dos corpos-de-prova, que foram moldados em fôrmas metálicas.

- Com a utilização do intervalo de confiança para os dados obtidos através dos métodos de ultra-som e esclerometria, verificou-se a aplicabilidade do ultra-som por ter apresentado valores dentro do intervalo de confiança obtido, diferente do método esclerométrico, que mostrou-se não ser aplicável por apresentar valores fora do intervalo de confiança.

- As diferenças constatadas pelo método do esclerômetro refletiram-se no método combinado. Os valores de resistência estimados mostram-se superiores aos obtidos, quando comparados com os valores estimados pelo ultra-som somente.

- Com relação a curva de maturidade, apesar de aos 7 dias apresentar uma diferença de aproximadamente 18% do valor obtido, a tendência para os 28 dias foi de valor estimado próximos ao valor de resistência obtido.

7.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguindo a mesma linha do programa experimental utilizado neste trabalho, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Caracterizar curvas de correlação para o ensaio de penetração de pinos para as misturas de 25 e 30MPa;

- Testar *in loco* as curvas de correlação dos ensaios de penetração de pinos obtidas em laboratório;

- Aplicar os ensaios não destrutivos em diferentes obras, que utilizem as diferentes misturas de concreto testadas;

- Em obra, moldar corpos-de-prova cilíndricos para serem ensaiados em idades diferentes, juntamente com as estruturas, não somente aos 7 e 28 dias;

- Monitorar a temperatura em diferentes peças simultaneamente, em uma mesma obra;

- Na obtenção de E_a , para maior precisão dos resultados, moldar um maior número de corpos-de-prova cúbicos 5x5x5cm de argamassa para serem ensaiados em outras idades, possibilitando assim mais pontos para curva na obtenção dos parâmetros de regressão;

- Para obtenção de curvas de correlação através do esclerômetro, moldar corpos-de-prova em laboratório em fôrmas semelhantes às utilizadas em obra, diminuindo diferenças na dureza superficial das peças;

- Para os corpos-de-prova moldados em laboratório, fazer uma cura úmida até os 7 dias, deixando-os na cura ao ar após esta idade, aproximando-se assim do tipo de cura que usualmente está sendo empregado nas obras.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI COMMITTEE 228, **In-Place Methods to Estimate Concrete Strength**, American Concrete Institute, ACI 228.1R, 2003.

ACI COMMITTEE 364.1R, **Guide for Evolution of Concrete Structures Prior to Rehabilitation**, ACI Material Journal, Sep/Oct., 1993, pp.479-498.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584, 1995. **Concreto Endurecido: Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão**. Rio de Janeiro.

_____NBR 12655, 1996. **Concreto: Preparo Controle e Recebimento**. Rio de Janeiro.

_____NBR 8802, 1994. **Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica**. Rio de Janeiro.

_____NBR 7212, 1984. **Execução de Concreto Dosado em Central**. Rio de Janeiro.

_____NBR 5739, 1980. **Ensaio de Compressão de corpos de Prova Cilíndricos de Concreto**. Rio de Janeiro.

American Society for Testing and Materials. ASTM C 803, 1990. **Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete**. Philadelphia.

_____ASTM C1074, 1998. **Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method**. Philadelphia.

_____ASTM C805, 1985. **Standard method for rebound number of hardened concrete**. Philadelphia.

_____ASTM C597, 1983. **Standard method for pulse velocity through concrete.** American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

_____ASTM C33, 1984. **Specification for Concrete Agregates.** Philadelphia.

BARTLETT, F. M. and MACGREGOR, J. G.,1999. **Variation of In-Place Concrete Strength in Structures.** ACI Materials Journal, March-April, pp. 261-269.

British Standard Institution, BS 1881: Part 201, 1986. **Guide to the use of nondestructive methods of test for hardned concrete.** London.

BUNGEY, J. H., 1989. **The Testing of Concrete in Structures.** 2^a ed., London, Surrey University Press.

CARINO, N. J., 2004. **The Maturity Method.** Hanbook on Non-destructive Testing of Concrete, V. M. Malhotra and N.J. Carino, Eds. CRC Press, Chap. 5.

CARINO, N. J., 1994. **Recent Developments in Non-destructive Testing of Concrete.** Advances in Concrete Technology, CANMET, Editor V.M. Malhotra, 2^a ed., Canadá.

CARINO, N. J., 1997. **Nondestructive Test Methods.** Concrete Construction Engeneering Handbook, CRC Press, Chap. 19.

CHUNG, H. W., e LAW, K. S., 1983. **Diagnosing in situ concrete by ultrasonic pulse techniqe.** Concrete International, October, pp.42-49 .

DORNELLES, F. L., PINTO, R. C. A., e PADARATZ, I. J., 2004. **Detecção de Falhas Internas de Concretagem Através do Uso do Ultra-Som.** 47^o IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. Olinda.

DORNELLES, F. L., PINTO, R. C. A., e PADARATZ, I. J., 2004. **Influência do Posicionamento da Armadura em Medições de Ultra-som para Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto.** Encontro Nacional Betão Estrutural 2004, Actas, Porto, Portugal, pp. 1015-1022.

EVANGELISTA, A. C. J., 2002. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio não Destrutivos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

FACAOARU, I., 1984. **Romanian Achievements in Nondestructive Strength of Concrete**. In situ / Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82. American Concrete Institute, Detroit.

FREIELEBEN-HANSEN, P. e PEDERSEN, E. J., 1977. **Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete**. Nordisk Betong, Vol. 1, pp. 21-25.

MAAGE, M. e HELLAND, S., 1988. **Cold Eather Concrete Curing Planned and Controlled by Microcomputer**. Concrete International, Vol. 10, No. 10, pp. 34-39.

MACHADO, M. D., 2005. **Curvas de Correlação para Caracterizar Concretos Usados no Rio de Janeiro por meio de Ensaio Não Destrutivos**. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

MALHOTRA, V. M. e CARETTE, G. G., 2004. **Surface Hardness Methods**. Hanbook on Non-destructive Testing of Concrete, V. M. Malhotra and N.J. Carino, Eds. CRC Press, Chap. 1.

MALHOTRA, V. M., 1984. **In Situ / Nondestructive Testing of Concrete - A Global Review**. In Situ / Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit.

MENEGHETTI, L. C., 1999. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos nas Primeiras Idades Através de Ultra-som**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

METHA, P.K., e MONTEIRO, P. M., 1994. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. Pini, Brasil.

MYERS, J. J., 2000. **The use of maturity method as a quality control tool for HPC bridge decks**. International Symposium on High Performance Concrete –

PCI/FHWA/FIB, The Economical Solution for Durable Bridges and Transportation Structures, Florida, pp. 316-330.

NAIK, T. R., MALHOTRA, V. M., e POPOVICS, J.S., 2004. **The Ultrasonic Pulse Velocity Method**. In: Handbook on Non-destructive Testing of Concrete, V. M. Malhotra and N.J. Carino, Eds. CRC Press, Chap. 8.

NEVILLE, A. M., 1997. **Propriedades do Concreto**. 2ª edição, Ed. Pini, Brasil.

Norma Mercosul, NM 58, 1996. **Concreto Endurecido: Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica**. Comitê Mercosul de Normalização.

_____ NM 78, 1996. **Concreto Endurecido: Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Comitê Mercosul de Normalização.

PAZ, M. A. S., 1998. **Caracterização do Agregados Graúdos da Grande Florianópolis e sua Utilização em Concretos de Alta Resistência**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

PINTO, R. C. A., e BAGGIO, D., 2004. **Estudo da Variabilidade do Ensaio Brasileiro de Penetração de Pinos**. 46º IBRACON - Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis.

PINTO, R. C. A. e Dutra, F. S., 2004. **Variabilidade do Ensaio Brasileiro de Penetração de Pinos – Efeito da Distância entre Cravações e Umidade Superficial**. 46º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto, Florianópolis.

PINTO, R. C., 2004 (a). **Determinação da Energia Aparente de Ativação da Hidratação de Cimento**. E-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, n. 2, p. 95 - 104, novembro.

PINTO, R. C., 2004 (b). **Aplicação do Método da Maturidade em Pavimentos de Concreto**. 46º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto, Florianópolis.

PINTO, R. C. A., PADARATZ, I. J., GARGHETTI, A., HADLICH, A. R., BERTACCO, L. L., KUMM, V. P., e PFLEGER, V., 2004 (a). **Controle de Qualidade do Concreto em**

Obra Utilizando Técnicas Não-destrutivas. 46º IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, Florianópolis.

PINTO, R. C. A., PADARATZ, I. J., ANDRADE, L. B. e FEY, E., 2004 (b). **O Método da Maturidade para Tempo de Desforma e Descimbramento de Elementos Estruturais: Estudo de Caso.** In: 44º IBRACON - Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte.

PINTO, R. C. A., PADARATZ, I. J., GARGHETTI, A., KUMM, T. C., 2003. **Aplicação de Técnicas Não-Destrutivas para Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto.** 45º IBRACON - Congresso Brasileiro do Concreto, Vitória.

PINTO, R. C. A., 2000. **O Método da Maturidade e sua Utilização em Construção Civil.** XXIX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Punta Del Este, Uruguai.

PINTO, R. C. A., e Hover, K. C., 2000. **Aplicação do Método da Maturidade para Avaliação do Tempo de Pega do Concreto.** XXIX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Punta Del Este, Uruguai.

PINTO, R. C. A., 1997. **The Effects of Curing Temperatures on the Development of Mechanical Properties of Fresh and Hardned High Strenght Sílica Fume Mixtures – a Maturity Approach.** Tese de Doutorado, Universidade de Cornell, EUA.

RASTRUP, E., 1954. **Heat Hydration in Concrete.** Magazine of Concrete Research, Vol. 6, No. 17, pp. 79-92.

RILLEN NDT 3, 1984. **Recommendations for testing concrete by hardness methods.**

_____ NDT 4, 1993. **Recommendations for in situ concrete strength.**

RODRIGUES, G. S. S., 2003. **Módulo de Deformação Estática do Concreto pelo Método Ultra-sônico: Estudo da Correlação e Fatores Influentes.** Tese de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiás.

SAMARIN, A., 2004. **Combined Method**. Handbook on Non-destructive Testing of Concrete, V. M. Malhotra and N.J. Carino, Eds. CRC Press, Chap. 9.

SANTOS, S., SAVAGE, A. M., PINTO, R. C. A., e PADARATZ, I. J., 2003. **Avaliação da Qualidade do Concreto Dosado em Central Através da Extração de Testemunhos em Obras de Florianópolis e Região**. 45º IBRACON - Congresso Brasileiro de Concreto, Vitória.

SAUL, A. G. A., 1951. **Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure**. Magazine of Concrete Research, No. 6, 1951, pp. 127-140.

STURRUP, V. R., VECCHIO, F. J., and CARATIN, H., 1984. **Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength. In Situ/Nondestructive Testing of Concrete**. Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp.201-228.

TAM, C. T., ONG K. C., e SWADDINMDHIPONG, S., 1991. **Precautions for the Use of Nondestructive Testing on Site**. In: Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures and Innovation in Design, Special Publication SP-121, pp. 85-100, Detroit.

VIEIRA, D. P., 1978. **Método Brasileiro de Penetração de Pinos**. XX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Santiago, Chile.

APÊNDICE A

Resultados dos Ensaaios da Primeira Etapa – Laboratorial

ULTRA-SOM

Concreto de 20 MPa

L= Distância (cm)
V média = m/s
Lituras = 10⁻⁶s

UCD L-20a									
V média									
CP 01	L	21,9	CP 02	L	19,95	CP 03	L	19,9	
	Leitura 01	59		Leitura 01	53,9		Leitura 01	53	
	Leitura 02	59,1		Leitura 02	53,8		Leitura 02	52,8	
Média		59,1			53,9			52,9	
1 dia	Velocidade	3708,7			3704,7			3761,8	3725
CP 01	L	19,9	CP 02	L	20	CP 03	L	20	
	Leitura 01	50		Leitura 01	49,2		Leitura 01	49,7	
	Leitura 02	50,1		Leitura 02	49,9		Leitura 02	50,5	
		50,1			49,6			50,1	
3 dias		3976,0			4036,3			3992,0	4001
CP 01	L	19,85	CP 02	L	19,95	CP 03	L	19,9	
	Leitura 01	46,9		Leitura 01	46,5		Leitura 01	47,1	
	Leitura 02	46,6		Leitura 02	46,3		Leitura 02	46,8	
		46,8			46,4			47,0	
7 dias		4246,0			4299,6			4238,6	4261
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,9	CP 03	L	19,9	
	Leitura 01	48,4		Leitura 01	47,4		Leitura 01	47,5	
	Leitura 02	48,4		Leitura 02	47,4		Leitura 02	47,7	
		48,4			47,4			47,6	
14 dias		4111,6			4198,3			4180,7	4164
CP 01	L	19,95	CP 02	L	19,85	CP 03	L	19,9	
	Leitura 01	45,9		Leitura 01	45,8		Leitura 01	47,1	
	Leitura 02	46		Leitura 02	45,8		Leitura 02	47,1	
		46,0			45,8			47,1	
28 dias		4341,7			4334,1			4225,1	4300
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,85	CP 03	L	19,9	
	Leitura 01	45,6		Leitura 01	46,2		Leitura 01	46,3	
	Leitura 02	45,9		Leitura 02	47,3		Leitura 02	46,3	
		45,8			46,8			46,3	
90 dias		4349,7			4246,0			4298,1	4298

UCD L-20b								
						V média		
CP 01	L	19,8	CP 02	L	19,8	CP 03	L	20
	Leitura 01	44,5		Leitura 01	43,6		Leitura 01	44,4
	Leitura 02	44,2		Leitura 02	43,5		Leitura 02	44,7
		Média						
		44,4			43,6			44,6
3 dias		Velocidade						4500
		4464,5			4546,5			4489,3
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,9	CP 03	L	19,8
	Leitura 01	43,2		Leitura 01	43,8		Leitura 01	43
	Leitura 02	43,3		Leitura 02	43,8		Leitura 02	43,2
		43,3			43,8			43,1
7 dias								4580
		4601,2			4543,4			4594,0
CP 01	L	19,95	CP 02	L	19,9	CP 03	L	19,9
	Leitura 01	39,9		Leitura 01	41,3		Leitura 01	41,4
	Leitura 02	40,2		Leitura 02	41,2		Leitura 02	41
		40,1			41,3			41,2
14 dias								4879
		4981,3			4824,2			4830,1
CP 01	L	19,85	CP 02	L	19,9	CP 03	L	19,9
	Leitura 01	41,8		Leitura 01	41,5		Leitura 01	41,8
	Leitura 02	41,4		Leitura 02	41,4		Leitura 02	42,1
		41,6			41,5			42,0
28 dias								4772
		4771,6			4801,0			4743,7
CP 01	L	17,9	CP 02	L	19,95	CP 03	L	20
	Leitura 01	36,6		Leitura 01	40,1		Leitura 01	40,1
	Leitura 02	36,2		Leitura 02	40,5		Leitura 02	40,2
		36,4			40,3			40,2
90 dias								4950
		4917,6			4950,4			4981,3

UPD L-20a			UPD L-20b		
			V média		
CP 01	L	60,1			
	Leitura 01	174,4			
	Leitura 02	173,9			
		Média			
		174,15			
1 dia		Velocidade			3451
		3451,048			3451
CP 01	L	70,2	CP 01	L	60
	Leitura 01	184,1		Leitura 01	145,7
	Leitura 02	184,5		Leitura 02	145,5
		184,3			145,6
3 dias					4121
		3809,007			4120,879
CP 01	L	70,2	CP 01	L	60,3
	Leitura 01	177,5		Leitura 01	137,8
	Leitura 02	177,6		Leitura 02	138,1
		177,55			137,95

7 dias			3953,816	3954	7 dias			4371,149	4371
CP 01	L	70,2			CP 01	L	60,2		
	Leitura 01	174,4				Leitura 01	134		
	Leitura 02	174,2				Leitura 02	133,6		
			174,3					133,8	
14 dias			4027,539	4028	14 dias			4499,253	4499
CP 01	L	70,6			CP 01	L	60,1		
	Leitura 01	171,9				Leitura 01	130,4		
	Leitura 02	171,8				Leitura 02	130,4		
			171,85					130,4	
28 dias			4108,234	4108	28 dias			4608,896	4609
CP 01	L	70,6			CP 01	L	60		
	Leitura 01	167,1				Leitura 01	127,6		
	Leitura 02	166,8				Leitura 02	127,9		
			166,95					127,75	
90 dias			4228,811	4229	90 dias			4696,673	4697

UPI L-20a

V

Dist. Transd. (m)			0,1	0,2	0,3	0,4					
Pos. 1	Leit. 1	21,8	Pos. 2	Leit. 1	53,8	Pos. 3	Leit. 1	86,6	Pos. 4	Leit. 1	117,8
	Leit. 2	21,9		Leit. 2	53,9		Leit. 2	86,8		Leit. 2	118,2
Média		21,85	Média		53,85	Média		86,7	Média		118
Veloc.		2E-05	Veloc.		5E-05	Veloc.		9E-05	Veloc.		0,0001
1 dia						3112					
			0,1	0,2	0,3	0,4					
Pos. 1	Leit. 1	18	Pos. 2	Leit. 1	47,6	Pos. 3	Leit. 1	76,5	Pos. 4	Leit. 1	109,3
	Leit. 2	19		Leit. 2	47,9		Leit. 2	77,6		Leit. 2	107
		18,5			47,75			77,05			108,15
		2E-05			5E-05			8E-05			0,0001
3 dias						3352					
			0,1	0,2	0,3	0,4					
Pos. 1	Leit. 1	20,4	Pos. 2	Leit. 1	47,6	Pos. 3	Leit. 1	76,8	Pos. 4	Leit. 1	99,9
	Leit. 2	21,1		Leit. 2	47,1		Leit. 2	76,5		Leit. 2	99,5
		20,75			47,35			76,65			99,7
		2E-05			5E-05			8E-05			1E-04
7 dias						3750					
			0,1	0,2	0,3	0,4					
Pos. 1	Leit. 1	19,9	Pos. 2	Leit. 1	45,3	Pos. 3	Leit. 1	72,7	Pos. 4	Leit. 1	99,8
	Leit. 2	20,2		Leit. 2	45,6		Leit. 2	72,2		Leit. 2	99,8
		20,05			45,45			72,45			99,8
		2E-05			5E-05			7E-05			1E-04

14 dias**3816**

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	20,4	Pos. 2	Leit. 1	45,8	Pos. 3	Leit. 1	71,8	Pos. 4	Leit. 1	99,9
	Leit. 2	20,3		Leit. 2	45,8		Leit. 2	72,4		Leit. 2	99,8
20,35			45,8			72,1			99,85		
2E-05			5E-05			7E-05			1E-04		

28 dias**3775**

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	21,6	Pos. 2	Leit. 1	48	Pos. 3	Leit. 1	73,6	Pos. 4	Leit. 1	99,4
	Leit. 2	20,9		Leit. 2	47,9		Leit. 2	73,2		Leit. 2	99,5
21,25			47,95			73,4			99,45		
2E-05			5E-05			7E-05			1E-04		

90 dias**4000****UPI L-20b****V**

Dist. Transd. (m) 0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	19,8	Pos. 2	Leit. 1	47,2	Pos. 3	Leit. 1	73,8	Pos. 4	Leit. 1	101
	Leit. 2	19,8		Leit. 2	46,6		Leit. 2	73,8		Leit. 2	102,3
Média 19,8			46,9			73,8			101,65		
Veloc. 2E-05			5E-05			7E-05			0,0001		

3 dias**3670**

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	20,4	Pos. 2	Leit. 1	44	Pos. 3	Leit. 1	71,9	Pos. 4	Leit. 1	94,9
	Leit. 2	20,2		Leit. 2	43,8		Leit. 2	71,4		Leit. 2	94,9
20,3			43,9			71,65			94,9		
2E-05			4E-05			7E-05			9E-05		

7 dias**3971**

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	16	Pos. 2	Leit. 1	40	Pos. 3	Leit. 1	66,9	Pos. 4	Leit. 1	90,8
	Leit. 2	15,9		Leit. 2	39,9		Leit. 2	66,3		Leit. 2	90,2
15,95			39,95			66,6			90,5		
2E-05			4E-05			7E-05			9E-05		

14 dias**3993**

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	19,8	Pos. 2	Leit. 1	45,8	Pos. 3	Leit. 1	70,4	Pos. 4	Leit. 1	91,9
	Leit. 2	19,7		Leit. 2	45		Leit. 2	69,8		Leit. 2	91,8
19,75			45,4			70,1			91,85		
2E-05			5E-05			7E-05			9E-05		

28 dias**4144**

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	19,4	Pos. 2	Leit. 1	39,8	Pos. 3	Leit. 1	64,3	Pos. 4	Leit. 1	87,9
	Leit. 2	19,5		Leit. 2	39,5		Leit. 2	64,4		Leit. 2	87,4
19,45			39,65			64,35			87,65		
2E-05			4E-05			6E-05			9E-05		

90 dias**4317****Concreto de 25 MPa****UCD L-25a**

									V média		
CP 01	L	19,9	CP 02	L	20	CP 03	L	19,9			
	Leitura 01	53,5		Leitura 01	54,9		Leitura 01	56,2			
	Leitura 02	53,5		Leitura 02	54,9		Leitura 02	56,2			
Média 53,5			54,9			56,2					
1 dia Velocidade 3719,6			3643,0			3540,9			3635		
CP 01	L	19,95	CP 02	L	19,7	CP 03	L	20			
	Leitura 01	50		Leitura 01	49,9		Leitura 01	50,6			
	Leitura 02	50,3		Leitura 02	49,7		Leitura 02	50,4			
50,2			49,8			50,5					
3 dias 3978,1			3955,8			3960,4			3965		
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,85	CP 03	L	19,75			
	Leitura 01	45,5		Leitura 01	47,5		Leitura 01	45,2			
	Leitura 02	45,6		Leitura 02	47,6		Leitura 02	44,9			
45,6			47,6			45,1					
7 dias 4368,8			4174,6			4384,0			4309		
CP 01	L	19,8	CP 02	L	20	CP 03	L	19,85			
	Leitura 01	45,3		Leitura 01	46,8		Leitura 01	46,3			
	Leitura 02	44,9		Leitura 02	46,6		Leitura 02	45,8			
45,1			46,7			46,1					
14 dias 4390,2			4282,7			4310,5			4328		
CP 01	L	19,8	CP 02	L	20	CP 03	L	19,85			
	Leitura 01	43,5		Leitura 01	44		Leitura 01	44,5			
	Leitura 02	43,4		Leitura 02	43,9		Leitura 02	44,3			
43,5			44,0			44,4					
28 dias 4557,0			4550,6			4470,7			4526		
CP 01	L	19,5	CP 02	L	19,9	CP 03	L	19,9			
	Leitura 01	44,2		Leitura 01	43,4		Leitura 01	44,8			
	Leitura 02	44		Leitura 02	43,5		Leitura 02	44,5			
44,1			43,5			44,7					
90 dias 4421,8			4580,0			4456,9			4486		

UCD L-25b

V média

CP 01	L	19,85
	Leitura 01	47,3
	Leitura 02	47,6

Média 47,5

CP 02	L	20
	Leitura 01	47,8
	Leitura 02	47,3

47,6

CP 03	L	20
	Leitura 01	47,8
	Leitura 02	47,4

47,6

3 dias Velocidade 4183,4

4206,1

4201,7

4197

CP 01	L	19,9
	Leitura 01	42,5
	Leitura 02	42,5

42,5

CP 02	L	19,8
	Leitura 01	43,2
	Leitura 02	43,4

43,3

CP 03	L	20
	Leitura 01	41,7
	Leitura 02	42

41,9

7 dias 4682,4

4572,7

4779,0

4678

CP 01	L	19,95
	Leitura 01	43,7
	Leitura 02	43,4

43,6

CP 02	L	20
	Leitura 01	43,4
	Leitura 02	42,3

42,9

CP 03	L	19,9
	Leitura 01	40,9
	Leitura 02	40,7

40,8

14 dias 4580,9

4667,4

4877,5

4709

CP 01	L	19,9
	Leitura 01	41,1
	Leitura 02	40,7

40,9

CP 02	L	19,95
	Leitura 01	42,3
	Leitura 02	42,4

42,4

CP 03	L	19,8
	Leitura 01	42,3
	Leitura 02	42,4

42,4

28 dias 4865,5

4710,7

4675,3

4751

CP 01	L	19
	Leitura 01	40,8
	Leitura 02	40,1

40,5

CP 02	L	19,5
	Leitura 01	40,8
	Leitura 02	40,3

40,6

CP 03	L	20
	Leitura 01	41,7
	Leitura 02	41,6

41,7

90 dias 4697,2

4808,9

4801,9

4769

UPD L-25a

V média

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	158,7
	Leitura 02	159,6

Média 159,2

1 dia Velocidade 3738,6 **3739**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	150,9
	Leitura 02	150,8

150,9

3 dias 3944,3 **3944**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	144,6
	Leitura 02	145

144,8

7 dias 4109,1 **4109**

UPD L-25b

V média

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	146,7
	Leitura 02	146,5

146,6

1 3739

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	137,2
	Leitura 02	136,7

137,0

3 4058,7 **4059****7** 4344,7 **4345**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	142,7
	Leitura 02	142,1

142,4

14 dias 4178,4 **4178**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	138,4
	Leitura 02	138,9

138,7

28 dias 4291,4 **4291**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	135,9
	Leitura 02	135,9

135,9

90 dias 4378,2 **4378**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	135,4
	Leitura 02	134,8

135,1

14 4404,1 **4404**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	133,2
	Leitura 02	133,6

133,4

28 4460,3 **4460**

CP 01	L	59,5
	Leitura 01	129,6
	Leitura 02	130

129,8

90 4584,0 **4584****UPI L-25a**

V

Dist. Transd. (m)		0,1	0,2	0,3	0,4						
Pos. 1	Leit. 1	25,6	Pos. 2	Leit. 1	52,6	Pos. 3	Leit. 1	80,5	Pos. 4	Leit. 1	107,2
	Leit. 2	26,6		Leit. 2	52,3		Leit. 2	83		Leit. 2	112,5
Média		26,1	52,45	81,75	109,9						
Veloc.		3E-05	5E-05	8E-05	1E-04						

1**3563**

		0,1	0,2	0,3	0,4						
Pos. 1	Leit. 1	20,7	Pos. 2	Leit. 1	47,8	Pos. 3	Leit. 1	75	Pos. 4	Leit. 1	103
	Leit. 2	19,2		Leit. 2	47,9		Leit. 2	75,6		Leit. 2	103
		19,95	47,85	75,3	103						
		2E-05	5E-05	8E-05	1E-04						

3**3615**

		0,1	0,2	0,3	0,4						
Pos. 1	Leit. 1	19,6	Pos. 2	Leit. 1	43,2	Pos. 3	Leit. 1	71	Pos. 4	Leit. 1	99,9
	Leit. 2	19,4		Leit. 2	44,3		Leit. 2	71,5		Leit. 2	99,5
		19,5	43,75	71,25	99,7						
		2E-05	4E-05	7E-05	1E-04						

7**3725**

		0,1	0,2	0,3	0,4						
Pos. 1	Leit. 1	19,9	Pos. 2	Leit. 1	45,3	Pos. 3	Leit. 1	72,7	Pos. 4	Leit. 1	99,6
	Leit. 2	20,2		Leit. 2	45,6		Leit. 2	72,2		Leit. 2	99,4
		20,05	45,45	72,45	99,5						
		2E-05	5E-05	7E-05	1E-04						

14**3768**

		0,1			0,2			0,3			0,4
Pos. 1	Leit. 1	20,5	Pos. 2	Leit. 1	45,9	Pos. 3	Leit. 1	75,2	Pos. 4	Leit. 1	98,2
	Leit. 2	20,4		Leit. 2	46,2		Leit. 2	75		Leit. 2	99
		20,45			46,05			75,1			98,6
		2E-05			5E-05			8E-05			1E-04

28

3789

		0,1			0,2			0,3			0,4
Pos. 1	Leit. 1	21,1	Pos. 2	Leit. 1	45,3	Pos. 3	Leit. 1	69,6	Pos. 4	Leit. 1	95,8
	Leit. 2	20,4		Leit. 2	45,4		Leit. 2	69,4		Leit. 2	96,2
		20,75			45,35			69,5			96
		2E-05			5E-05			7E-05			1E-04

90

4000

UPI L-25b

V

		0,1			0,2			0,3			0,4
Pos. 1	Leit. 1	24	Pos. 2	Leit. 1	49,3	Pos. 3	Leit. 1	76,2	Pos. 4	Leit. 1	101,3
	Leit. 2	24		Leit. 2	49,5		Leit. 2	76,4		Leit. 2	101,3
Média		24			49,4			76,3			101,3
Veloc.		2E-05			5E-05			8E-05			1E-04

3

3863

		0,1			0,2			0,3			0,4
Pos. 1	Leit. 1	20,2	Pos. 2	Leit. 1	43,3	Pos. 3	Leit. 1	67,8	Pos. 4	Leit. 1	92,1
	Leit. 2	19,9		Leit. 2	42,6		Leit. 2	67,5		Leit. 2	92
		20,05			42,95			67,65			92,05
		2E-05			4E-05			7E-05			9E-05

7

4153

		0,1			0,2			0,3			0,4
Pos. 1	Leit. 1	22,8	Pos. 2	Leit. 1	40,4	Pos. 3	Leit. 1	65,7	Pos. 4	Leit. 1	89
	Leit. 2	22,1		Leit. 2	41,1		Leit. 2	65,3		Leit. 2	88,5
		22,45			40,75			65,5			88,75
		2E-05			4E-05			7E-05			9E-05

14

4165

		0,1			0,2			0,3			0,4
Pos. 1	Leit. 1	18,9	Pos. 2	Leit. 1	45,1	Pos. 3	Leit. 1	65,9	Pos. 4	Leit. 1	92,4
	Leit. 2	19,1		Leit. 2	44,7		Leit. 2	66		Leit. 2	91,4
		19			44,9			65,95			91,9
		2E-05			4E-05			7E-05			9E-05

28

4164

0,1

0,2

0,3

0,4

Pos. 1	Leit. 1	15,8	Pos. 2	Leit. 1	40	Pos. 3	Leit. 1	62	Pos. 4	Leit. 1	85,7
	Leit. 2	16,1		Leit. 2	39,2		Leit. 2	61,9		Leit. 2	85,7
		15,95			39,6			61,95			85,7
		2E-05			4E-05			6E-05			9E-05

90

4317

Concreto de 30 MPa

UCD L-30a											
											V média
CP 01	L	19,85	CP 02	L	19,85	CP 03	L	19,95			
	Leitura 01	52,7		Leitura 01	55,8		Leitura 01	53,5			
	Leitura 02	51,2		Leitura 02	55,3		Leitura 02	54,5			
	Média	52,0			55,6			54,0			
	1 Velocidade	3821,0			3573,4			3694,4	3696		
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,8	CP 03	L	19,8			
	Leitura 01	45,3		Leitura 01	45,3		Leitura 01	46,0			
	Leitura 02	45,4		Leitura 02	45,7		Leitura 02	46,2			
		45,4			45,5			46,1			
	3	4388,1			4351,6			4295,0	4345		
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,8	CP 03	L	20,0			
	Leitura 01	46,0		Leitura 01	43,6		Leitura 01	43,6			
	Leitura 02	45,4		Leitura 02	43,8		Leitura 02	43,7			
		45,7			43,7			43,7			
	7	4354,5			4530,9			4570,4	4485		
CP 01	L	19,85	CP 02	L	19,9	CP 03	L	19,85			
	Leitura 01	44,2		Leitura 01	43,5		Leitura 01	43,8			
	Leitura 02	44		Leitura 02	43,8		Leitura 02	43,7			
		44,1			43,7			43,8			
	14	4501,1			4559,0			4537,1	4532		
CP 01	L	19,75	CP 02	L	19,8	CP 03	L	19,75			
	Leitura 01	40,6		Leitura 01	40,4		Leitura 01	40,9			
	Leitura 02	40,3		Leitura 02	40,2		Leitura 02	40,9			
		40,5			40,3			40,9			
	28	4882,6			4913,2			4828,9	4875		
CP 01	L	20	CP 02	L	19,8	CP 03	L	19,9			
	Leitura 01	42,5		Leitura 01	43,6		Leitura 01	43			
	Leitura 02	42,1		Leitura 02	42,8		Leitura 02	42,4			
		42,3			43,2			42,7			
	90	4728,1			4583,3			4660,4	4657		

UCD L-30b					
					V média
CP 01	L	19,9	CP 02	L	19,9
	Leitura 01	42,2		Leitura 01	42,1
	Leitura 02	42,4		Leitura 02	41,8
		Média			42,3
		3 Velocidade			4704,5
					42,0
					4743,7
					42,4
					4693,4
					4714
CP 01	L	19,9	CP 02	L	20
	Leitura 01	41,4		Leitura 01	42,4
	Leitura 02	41		Leitura 02	42,3
					41,2
		7			4830,1
					42,4
					4722,6
					41,4
					4830,9
					4795
CP 01	L	19,95	CP 02	L	19,8
	Leitura 01	42,4		Leitura 01	41,7
	Leitura 02	42		Leitura 02	41,5
					42,2
		14			4727,5
					41,6
					4759,6
					42,0
					4708,0
					4732
CP 01	L	19,8	CP 02	L	19,8
	Leitura 01	37,8		Leitura 01	37,5
	Leitura 02	38		Leitura 02	38
					37,9
		28			5224,3
					37,8
					5245,0
					38,6
					5162,1
					5210
CP 01	L	19,7	CP 02	L	20
	Leitura 01	39,1		Leitura 01	40,1
	Leitura 02	39,1		Leitura 02	40,1
					39,1
		90			5038,4
					40,1
					4987,5
					39,6
					5031,6
					5019

UPD L-30a		
V média		
CP 01	L	59,7
	Leitura 01	165
	Leitura 02	165,5
		Média
		165,3
		1 Velocidade
		3612,7
		3613
CP 01	L	59,5
	Leitura 01	147,9
	Leitura 02	148,4
		148,2
		3
		4016,2
		4016
CP 01	L	59,5
	Leitura 01	145,3
	Leitura 02	144
		144,7

UPD L-30b		
V média		
CP 01	L	59,7
	Leitura 01	137,2
	Leitura 02	137,2
		137,2
		1
		3613
		3613
CP 01	L	59,7
	Leitura 01	137,2
	Leitura 02	137,2
		137,2
		3
		4351,3
		4351
CP 01	L	59,7
	Leitura 01	135,1
	Leitura 02	135,5
		135,3

7		4113,4	4113	7		4412,4	4412
CP 01	L	59,5		CP 01	L	59,7	
	Leitura 01	140,9			Leitura 01	131,9	
	Leitura 02	140,5			Leitura 02	132,5	
		140,7				132,2	
14		4228,9	4229	14		4515,9	4516
CP 01	L	59,5		CP 01	L	59,7	
	Leitura 01	138,8			Leitura 01	130,5	
	Leitura 02	139,1			Leitura 02	130,4	
		139,0				130,5	
28		4282,1	4282	28		4576,5	4576
CP 01	L	59,5		CP 01	L	59,7	
	Leitura 01	135,4			Leitura 01	128,2	
	Leitura 02	136,2			Leitura 02	128,3	
		135,8				128,3	
90		4381,4	4381	90		4655,0	4655

UPI L-30a

V

Dist. Transd. (m)	0,1	0,2	0,3	0,4							
Pos. 1	Leit. 1	22,2	Pos. 2	Leit. 1	52,1	Pos. 3	Leit. 1	81	Pos. 4	Leit. 1	113,1
	Leit. 2	21,9		Leit. 2	52,8		Leit. 2	82,4		Leit. 2	112,7
Média	22,05	52,45	81,7	112,9							
Veloc.	2,2E-05	5,2E-05	8,2E-05	0,00011							

1**3313**

	0,1	0,2	0,3	0,4							
Pos. 1	Leit. 1	17,7	Pos. 2	Leit. 1	45,8	Pos. 3	Leit. 1	72,4	Pos. 4	Leit. 1	100,6
	Leit. 2	17,7		Leit. 2	46,2		Leit. 2	72,9		Leit. 2	101
	17,7	46	72,65	100,8							
	1,8E-05	4,6E-05	7,3E-05	0,0001							

3**3623**

	0,1	0,2	0,3	0,4							
Pos. 1	Leit. 1	17,8	Pos. 2	Leit. 1	44,6	Pos. 3	Leit. 1	71,6	Pos. 4	Leit. 1	97,1
	Leit. 2	17,4		Leit. 2	44,4		Leit. 2	71,7		Leit. 2	97,7
	17,6	44,5	71,65	97,4							
	1,8E-05	4,5E-05	7,2E-05	9,7E-05							

7**3751**

0,1

0,2

0,3

0,4

Pos. 1	Leit. 1	19,8	Pos. 2	Leit. 1	45,9	Pos. 3	Leit. 1	71	Pos. 4	Leit. 1	96,1
	Leit. 2	20,1		Leit. 2	46,2		Leit. 2	70,7		Leit. 2	96,6
19,95			46,05			70,85			96,35		
2E-05			4,6E-05			7,1E-05			9,6E-05		

14

3937

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	16,8	Pos. 2	Leit. 1	41,9	Pos. 3	Leit. 1	68,6	Pos. 4	Leit. 1	92
	Leit. 2	17		Leit. 2	41		Leit. 2	68,6		Leit. 2	91,8
16,9			41,45			68,6			91,9		
1,7E-05			4,1E-05			6,9E-05			9,2E-05		

28

3963

0,1			0,2			0,3			0,4		
Pos. 1	Leit. 1	19	Pos. 2	Leit. 1	43,7	Pos. 3	Leit. 1	69,5	Pos. 4	Leit. 1	93,4
	Leit. 2	18,7		Leit. 2	42		Leit. 2	67,6		Leit. 2	92,5
18,85			42,85			68,55			92,95		
1,9E-05			4,3E-05			6,9E-05			9,3E-05		

90

4332

ESCLEROMETRIA

CONCRETO 20 MPa

ECH L-20a

IE Médio

CP	Leitura	Valor	CP	Leitura	Valor	CP	Leitura	Valor	
CP 01	Leitura 01	16	CP 02	Leitura 01	14	CP 03	Leitura 01	14	14,4
	Leitura 02	15		Leitura 02	13		Leitura 02	16	
	Leitura 03	16		Leitura 03	13		Leitura 03	14	
	Leitura 04			Leitura 04	13		Leitura 04		
	Leitura 05			Leitura 05	14		Leitura 05	14	
	Leitura 06	16		Leitura 06	13		Leitura 06	13	
	Leitura 07			Leitura 07	12		Leitura 07	15	
	Leitura 08	16		Leitura 08	13		Leitura 08	13	
1 dia		15,8	13,1		14,1				

CP 01	Leitura 01	25	CP 02	Leitura 01	24	CP 03	Leitura 01		23,6
	Leitura 02	25		Leitura 02			Leitura 02		
	Leitura 03	28		Leitura 03	25		Leitura 03	21	
	Leitura 04			Leitura 04			Leitura 04		
	Leitura 05	24		Leitura 05	22		Leitura 05		
	Leitura 06	24		Leitura 06	24		Leitura 06	25	
	Leitura 07	23		Leitura 07	24		Leitura 07	23	
	Leitura 08			Leitura 08	21		Leitura 08	22	
3 dias		24,8	23,3		22,8				

CP 01	Leitura 01	26	CP 02	Leitura 01	25	CP 03	Leitura 01	25	25,8
	Leitura 02	26		Leitura 02	23		Leitura 02		
	Leitura 03	27		Leitura 03	28		Leitura 03	28	
	Leitura 04	24		Leitura 04	28		Leitura 04	25	
	Leitura 05	26		Leitura 05	24		Leitura 05	26	
	Leitura 06	26		Leitura 06	23		Leitura 06		
	Leitura 07	25		Leitura 07	26		Leitura 07	27	
	Leitura 08	27		Leitura 08	26		Leitura 08		
7 dias		25,9	25,4		26,2				

CP 01	Leitura 01	28	CP 02	Leitura 01	26	CP 03	Leitura 01		26,4
	Leitura 02	26		Leitura 02			Leitura 02	28	
	Leitura 03			Leitura 03	26		Leitura 03	26	
	Leitura 04	26		Leitura 04	26		Leitura 04	26	
	Leitura 05			Leitura 05	27		Leitura 05		
	Leitura 06	25		Leitura 06	26		Leitura 06	26,5	
	Leitura 07	26		Leitura 07			Leitura 07	26	
	Leitura 08			Leitura 08			Leitura 08		
14 dias		26,3	26,3		26,5				

CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01	29	CP 03	Leitura 01	29
	Leitura 02			Leitura 02	29		Leitura 02	29
	Leitura 03	27		Leitura 03	28		Leitura 03	28
	Leitura 04	27		Leitura 04	30		Leitura 04	28
	Leitura 05	32		Leitura 05	29		Leitura 05	
	Leitura 06	28		Leitura 06	27		Leitura 06	29
	Leitura 07	28		Leitura 07	31		Leitura 07	29
	Leitura 08	27		Leitura 08	28		Leitura 08	29
28 dias	28,4	28,9	28,7	28,7				

CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01		CP 03	Leitura 01	30
	Leitura 02	30		Leitura 02	31		Leitura 02	31
	Leitura 03	30		Leitura 03	30		Leitura 03	30
	Leitura 04	29		Leitura 04	30		Leitura 04	
	Leitura 05	30		Leitura 05	28		Leitura 05	30
	Leitura 06	31		Leitura 06			Leitura 06	31
	Leitura 07	33		Leitura 07	31		Leitura 07	31
	Leitura 08	33		Leitura 08	31		Leitura 08	
90 dias	30,8	30,2	30,5	30,5				

ECH L-20b

IE Médio

1 dia

14,4

CP 01	Leitura 01	18	CP 02	Leitura 01	20	CP 03	Leitura 01	18
	Leitura 02	18		Leitura 02	17		Leitura 02	20
	Leitura 03	20		Leitura 03	18		Leitura 03	20
	Leitura 04	20		Leitura 04	18		Leitura 04	20
	Leitura 05			Leitura 05			Leitura 05	20
	Leitura 06	19		Leitura 06	20		Leitura 06	
	Leitura 07	20		Leitura 07	20		Leitura 07	18
	Leitura 08			Leitura 08			Leitura 08	20
3 dias	19,2	18,8	19,4	19,1				

CP 01	Leitura 01	18	CP 02	Leitura 01	19	CP 03	Leitura 01	
	Leitura 02			Leitura 02			Leitura 02	20
	Leitura 03	20		Leitura 03	18		Leitura 03	20
	Leitura 04	18		Leitura 04	19		Leitura 04	20
	Leitura 05	20		Leitura 05			Leitura 05	
	Leitura 06			Leitura 06	19		Leitura 06	19
	Leitura 07			Leitura 07	19		Leitura 07	
	Leitura 08	20		Leitura 08			Leitura 08	20
7 dias	19,2	18,8	19,8	19,3				

CP 01	Leitura 01	22	CP 02	Leitura 01		CP 03	Leitura 01	20
-------	------------	----	-------	------------	--	-------	------------	----

Leitura 02	18	Leitura 02	20	Leitura 02	18
Leitura 03		Leitura 03	18	Leitura 03	20
Leitura 04		Leitura 04	20	Leitura 04	18
Leitura 05	20	Leitura 05	19	Leitura 05	
Leitura 06	22	Leitura 06	19	Leitura 06	18
Leitura 07	21	Leitura 07	22	Leitura 07	19
Leitura 08	20	Leitura 08	21	Leitura 08	20
14 dias	20,5	19,9	19,0	19,8	

CP 01	Leitura 01	20	CP 02	Leitura 01	20	CP 03	Leitura 01	18
	Leitura 02	20		Leitura 02			Leitura 02	21
	Leitura 03	20		Leitura 03			Leitura 03	20
	Leitura 04			Leitura 04	22		Leitura 04	19
	Leitura 05	22		Leitura 05			Leitura 05	19
	Leitura 06			Leitura 06	20		Leitura 06	21
	Leitura 07	22		Leitura 07	20		Leitura 07	
	Leitura 08	22		Leitura 08	22		Leitura 08	22
28 dias	21,0	20,8	20,0	20,6				

CP 01	Leitura 01	24	CP 02	Leitura 01	21	CP 03	Leitura 01	
	Leitura 02			Leitura 02	21		Leitura 02	22
	Leitura 03			Leitura 03	21		Leitura 03	20
	Leitura 04			Leitura 04			Leitura 04	21
	Leitura 05			Leitura 05	21		Leitura 05	20
	Leitura 06	21		Leitura 06	22		Leitura 06	20
	Leitura 07	22		Leitura 07			Leitura 07	21
	Leitura 08	23		Leitura 08			Leitura 08	22
90 dias	22,5	21,2	20,9	21,5				

EPV L-20a

EPV L-20b

CP 01	Leitura 01	10	IE médio	IE médio
	Leitura 02	10		
	Leitura 03	10		
	Leitura 04	12		
	Leitura 05	12		
	Leitura 06	12		
	Leitura 07	11		
	Leitura 08	12		
	Leitura 09	12		
	Leitura 10	10		
1	11,1	11,1	1	11,1

CP 01	Leitura 01	20
	Leitura 02	22
	Leitura 03	20

CP 01	Leitura 01	16
	Leitura 02	17
	Leitura 03	18

	Leitura 04	20
	Leitura 05	20
	Leitura 06	20
	Leitura 07	21
	Leitura 08	20
	Leitura 09	21
	Leitura 10	20
3		20,4
		20,4

	Leitura 04	16
	Leitura 05	20
	Leitura 06	15
	Leitura 07	17
	Leitura 08	16
	Leitura 09	15
	Leitura 10	16
3		16,6
		16,6

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	
	Leitura 03	24
	Leitura 04	
	Leitura 05	23
	Leitura 06	23
	Leitura 07	22,5
	Leitura 08	
	Leitura 09	21
	Leitura 10	
7		22,7
		22,7

CP 01	Leitura 01	19
	Leitura 02	16
	Leitura 03	
	Leitura 04	
	Leitura 05	20
	Leitura 06	20
	Leitura 07	
	Leitura 08	17
	Leitura 09	
	Leitura 10	
7		18,4
		18,4

CP 01	Leitura 01	23
	Leitura 02	25
	Leitura 03	25
	Leitura 04	24
	Leitura 05	
	Leitura 06	
	Leitura 07	24,5
	Leitura 08	
	Leitura 09	
	Leitura 10	
14		24,3
		24,3

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	19
	Leitura 03	
	Leitura 04	
	Leitura 05	19
	Leitura 06	20
	Leitura 07	22
	Leitura 08	21
	Leitura 09	22
	Leitura 10	
14		20,5
		20,5

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	28
	Leitura 03	
	Leitura 04	27
	Leitura 05	30
	Leitura 06	31
	Leitura 07	
	Leitura 08	27
	Leitura 09	
	Leitura 10	30
28		28,8
		28,8

CP 01	Leitura 01	18
	Leitura 02	18
	Leitura 03	19
	Leitura 04	19
	Leitura 05	
	Leitura 06	
	Leitura 07	
	Leitura 08	18,5
	Leitura 09	
	Leitura 10	
28		18,5
		18,5

CP 01	Leitura 01	33
	Leitura 02	30

CP 01	Leitura 01	23
	Leitura 02	20

Leitura 03	
Leitura 04	32
Leitura 05	
Leitura 06	30
Leitura 07	
Leitura 08	
Leitura 09	
Leitura 10	30

90 31 **31,0**

Leitura 03	
Leitura 04	18
Leitura 05	24
Leitura 06	19
Leitura 07	22
Leitura 08	24
Leitura 09	24
Leitura 10	24

90 22 **22,0**

CONCRETO 25 MPa

ECH L-25a

IE Médio

CP 01	Leitura 01	15
	Leitura 02	14
	Leitura 03	14
	Leitura 04	13,5
	Leitura 05	14,5
	Leitura 06	14
	Leitura 07	14
	Leitura 08	

1 dia 14,1

CP 02	Leitura 01	16
	Leitura 02	15,5
	Leitura 03	16
	Leitura 04	16,5
	Leitura 05	18
	Leitura 06	
	Leitura 07	
	Leitura 08	18

16,7

CP 03	Leitura 01	16,5
	Leitura 02	
	Leitura 03	16
	Leitura 04	
	Leitura 05	16,5
	Leitura 06	17
	Leitura 07	17
	Leitura 08	

16,6 **15,8**

CP 01	Leitura 01	22
	Leitura 02	
	Leitura 03	21
	Leitura 04	
	Leitura 05	24
	Leitura 06	24
	Leitura 07	
	Leitura 08	23

3 dias 22,8

CP 02	Leitura 01	24
	Leitura 02	
	Leitura 03	23,5
	Leitura 04	23,5
	Leitura 05	26
	Leitura 06	26
	Leitura 07	24
	Leitura 08	24

24,4

CP 03	Leitura 01	21
	Leitura 02	20
	Leitura 03	
	Leitura 04	19,5
	Leitura 05	22
	Leitura 06	22
	Leitura 07	22
	Leitura 08	20

20,9 **22,7**

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	26
	Leitura 03	24
	Leitura 04	
	Leitura 05	26
	Leitura 06	
	Leitura 07	26
	Leitura 08	24,5

7 dias 25,3

CP 02	Leitura 01	22,5
	Leitura 02	24,5
	Leitura 03	23
	Leitura 04	24,5
	Leitura 05	22,5
	Leitura 06	24
	Leitura 07	24
	Leitura 08	24

23,6

CP 03	Leitura 01	27,5
	Leitura 02	28,5
	Leitura 03	30
	Leitura 04	26
	Leitura 05	25
	Leitura 06	
	Leitura 07	
	Leitura 08	25,5

27,1 **25,3**

CP 01	Leitura 01	28	CP 02	Leitura 01	27	CP 03	Leitura 01	24,5
	Leitura 02	29		Leitura 02	30		Leitura 02	26
	Leitura 03			Leitura 03	27		Leitura 03	26
	Leitura 04	30		Leitura 04	29		Leitura 04	
	Leitura 05	29		Leitura 05	25		Leitura 05	27
	Leitura 06	29		Leitura 06	26		Leitura 06	26
	Leitura 07	31		Leitura 07	26		Leitura 07	25,5
	Leitura 08	32,5		Leitura 08	29		Leitura 08	
14 dias	29,8	27,4	25,8	27,7				

CP 01	Leitura 01	27	CP 02	Leitura 01	30	CP 03	Leitura 01	
	Leitura 02	29		Leitura 02	34		Leitura 02	30
	Leitura 03	27		Leitura 03	32,5		Leitura 03	29
	Leitura 04	26,5		Leitura 04	34		Leitura 04	29,5
	Leitura 05	27,5		Leitura 05	34		Leitura 05	
	Leitura 06	29		Leitura 06	30		Leitura 06	26
	Leitura 07	27		Leitura 07	32		Leitura 07	
	Leitura 08	26		Leitura 08	32		Leitura 08	26
28 dias	27,4	32,3	28,1	29,3				

CP 01	Leitura 01	34	CP 02	Leitura 01		CP 03	Leitura 01	34
	Leitura 02	37		Leitura 02	35		Leitura 02	30
	Leitura 03	33		Leitura 03	34		Leitura 03	34
	Leitura 04	34		Leitura 04	30		Leitura 04	33
	Leitura 05	34		Leitura 05	32		Leitura 05	36
	Leitura 06	34		Leitura 06	34		Leitura 06	34
	Leitura 07	34		Leitura 07	34		Leitura 07	34
	Leitura 08	31		Leitura 08	31		Leitura 08	32
90 dias	33,9	32,9	33,4	33,4				

ECH L-25b

1 dia					IE Médio
					15,8

CP 01	Leitura 01	20	CP 02	Leitura 01	19,5	CP 03	Leitura 01	19
	Leitura 02	18		Leitura 02	22		Leitura 02	19
	Leitura 03	19		Leitura 03	20		Leitura 03	20
	Leitura 04	20		Leitura 04	20		Leitura 04	20
	Leitura 05	20		Leitura 05			Leitura 05	20
	Leitura 06	19		Leitura 06	20		Leitura 06	17
	Leitura 07	17		Leitura 07	20,5		Leitura 07	19
	Leitura 08	19		Leitura 08	20		Leitura 08	18
3 dias	19,0	20,3	19,0	19,4				

CP 01	Leitura 01	22	CP 02	Leitura 01		CP 03	Leitura 01	21
-------	------------	----	-------	------------	--	-------	------------	----

	Leitura 02			Leitura 02	22		Leitura 02	22
	Leitura 03			Leitura 03	23		Leitura 03	
	Leitura 04	20		Leitura 04	22		Leitura 04	
	Leitura 05	24		Leitura 05			Leitura 05	26
	Leitura 06	22		Leitura 06	22		Leitura 06	25
	Leitura 07	22		Leitura 07			Leitura 07	
	Leitura 08	22		Leitura 08	24		Leitura 08	21
7 dias		22,0		22,6			23,0	22,5

CP 01	Leitura 01	21,5	CP 02	Leitura 01	24	CP 03	Leitura 01	
	Leitura 02			Leitura 02	22		Leitura 02	22
	Leitura 03			Leitura 03			Leitura 03	
	Leitura 04	25,5		Leitura 04			Leitura 04	21
	Leitura 05	24		Leitura 05	22		Leitura 05	22
	Leitura 06	24		Leitura 06			Leitura 06	
	Leitura 07	24,5		Leitura 07	22		Leitura 07	22
	Leitura 08	23		Leitura 08	25		Leitura 08	24,5
14 dias		23,8		23,0			22,3	23,0

CP 01	Leitura 01	22	CP 02	Leitura 01	22	CP 03	Leitura 01	25
	Leitura 02	23,5		Leitura 02	24		Leitura 02	25
	Leitura 03	24,5		Leitura 03	21		Leitura 03	28
	Leitura 04	23,5		Leitura 04	25		Leitura 04	24
	Leitura 05	24		Leitura 05	23		Leitura 05	24
	Leitura 06			Leitura 06	23		Leitura 06	26
	Leitura 07	26		Leitura 07	23		Leitura 07	26
	Leitura 08	25,5		Leitura 08	23		Leitura 08	26
28 dias		24,1		23,0			25,5	24,2

CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01	30	CP 03	Leitura 01	
	Leitura 02	30		Leitura 02	32		Leitura 02	28
	Leitura 03			Leitura 03	30		Leitura 03	29
	Leitura 04	31		Leitura 04	29		Leitura 04	32
	Leitura 05	30		Leitura 05	30		Leitura 05	27
	Leitura 06	30		Leitura 06			Leitura 06	32
	Leitura 07	32		Leitura 07	29		Leitura 07	30
	Leitura 08	31		Leitura 08	30		Leitura 08	30
90 dias		30,6		30,0			29,7	30,1

EPV L-25a

EPV L-25b

IE médio

IE médio

CP 01	Leitura 01	15,5
	Leitura 02	14,5
	Leitura 03	15
	Leitura 04	15,5
	Leitura 05	14,5

Leitura 06	16
Leitura 07	14
Leitura 08	16
Leitura 09	16
Leitura 10	13

1 dia

15,0

15,0**1 dia****15,0**

CP 01	Leitura 01	19
	Leitura 02	20
	Leitura 03	18
	Leitura 04	18
	Leitura 05	
	Leitura 06	
	Leitura 07	20
	Leitura 08	19
	Leitura 09	21,5
	Leitura 10	

3 dias

19,4

19,4

CP 01	Leitura 01	18,5
	Leitura 02	18,5
	Leitura 03	19
	Leitura 04	19
	Leitura 05	17,5
	Leitura 06	
	Leitura 07	20
	Leitura 08	20
	Leitura 09	20
	Leitura 10	19

3 dias

19,1

19,1

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	27
	Leitura 03	27
	Leitura 04	27
	Leitura 05	
	Leitura 06	
	Leitura 07	25,5
	Leitura 08	26
	Leitura 09	28
	Leitura 10	26

7 dias

26,6

26,6

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	
	Leitura 03	18
	Leitura 04	18,5
	Leitura 05	20
	Leitura 06	21,5
	Leitura 07	22
	Leitura 08	18
	Leitura 09	20
	Leitura 10	18,5

7 dias

19,6

19,6

CP 01	Leitura 01	26,5
	Leitura 02	26
	Leitura 03	30
	Leitura 04	27
	Leitura 05	
	Leitura 06	27
	Leitura 07	33
	Leitura 08	26,5
	Leitura 09	27
	Leitura 10	27

14 dias

27,8

27,8

CP 01	Leitura 01	21,5
	Leitura 02	21,5
	Leitura 03	22,5
	Leitura 04	22,5
	Leitura 05	
	Leitura 06	21
	Leitura 07	23
	Leitura 08	21
	Leitura 09	24,5
	Leitura 10	23,5

14 dias

22,3

22,3

CP 01	Leitura 01	28
	Leitura 02	

CP 01	Leitura 01	22
	Leitura 02	

Leitura 03	31
Leitura 04	31
Leitura 05	28,5
Leitura 06	30
Leitura 07	30,5
Leitura 08	29
Leitura 09	32
Leitura 10	28

28 dias 29,8 **29,8**

Leitura 03	25
Leitura 04	20,5
Leitura 05	20
Leitura 06	23
Leitura 07	
Leitura 08	21
Leitura 09	25
Leitura 10	24

28 dias 22,6 **22,6**

CP 01	Leitura 01	31
	Leitura 02	34
	Leitura 03	35
	Leitura 04	32
	Leitura 05	33
	Leitura 06	32
	Leitura 07	
	Leitura 08	32
	Leitura 09	31
	Leitura 10	37

90 dias 33,0 **33,0**

CP 01	Leitura 01	26
	Leitura 02	28
	Leitura 03	27
	Leitura 04	26
	Leitura 05	26
	Leitura 06	29
	Leitura 07	
	Leitura 08	26
	Leitura 09	27
	Leitura 10	25

90 dias 26,7 **26,7**

CONCRETO 30 MPa

ECH L-30a

1 dia	16,9	16,2	18,3	IE médio	17,1
CP 01	Leitura 01	Leitura 01	Leitura 01		
	Leitura 02	Leitura 02	Leitura 02		
	Leitura 03	Leitura 03	Leitura 03		
	Leitura 04	Leitura 04	Leitura 04		
	Leitura 05	Leitura 05	Leitura 05		
	Leitura 06	Leitura 06	Leitura 06		
	Leitura 07	Leitura 07	Leitura 07		
	Leitura 08	Leitura 08	Leitura 08		
3 dias	22,4	20,9	23,1		22,1
CP 01	Leitura 01	Leitura 01	Leitura 01		
	Leitura 02	Leitura 02	Leitura 02		
	Leitura 03	Leitura 03	Leitura 03		
	Leitura 04	Leitura 04	Leitura 04		
	Leitura 05	Leitura 05	Leitura 05		
	Leitura 06	Leitura 06	Leitura 06		
	Leitura 07	Leitura 07	Leitura 07		
	Leitura 08	Leitura 08	Leitura 08		
7 dias	24,8	26,1	25,1		25,3

CP 01	Leitura 01		CP 02	Leitura 01	26	CP 03	Leitura 01		
	Leitura 02	26		Leitura 02	29		Leitura 02	23	
	Leitura 03	26		Leitura 03			Leitura 03	26	
	Leitura 04			Leitura 04	28		Leitura 04	22	
	Leitura 05			Leitura 05			Leitura 05	26	
	Leitura 06	26		Leitura 06	28		Leitura 06	23	
	Leitura 07	29		Leitura 07	28		Leitura 07	25	
	Leitura 08	29		Leitura 08	26,5		Leitura 08		
14 dias		27,2			27,6			24,2	26,3
CP 01	Leitura 01	29	CP 02	Leitura 01	35	CP 03	Leitura 01		
	Leitura 02	29		Leitura 02	32		Leitura 02	31,5	
	Leitura 03	29		Leitura 03	32		Leitura 03	33	
	Leitura 04	29		Leitura 04	34		Leitura 04	29,5	
	Leitura 05	30		Leitura 05	32,5		Leitura 05	30	
	Leitura 06	28		Leitura 06	31		Leitura 06	32	
	Leitura 07	27,5		Leitura 07	34,5		Leitura 07	32	
	Leitura 08	27		Leitura 08	30		Leitura 08	30	
28 dias		28,6			32,6			31,1	30,8
CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01	30	CP 03	Leitura 01		
	Leitura 02	31		Leitura 02	30		Leitura 02	34	
	Leitura 03			Leitura 03	30		Leitura 03	34	
	Leitura 04			Leitura 04	30		Leitura 04	34	
	Leitura 05	32		Leitura 05	30		Leitura 05	32	
	Leitura 06	36		Leitura 06	31		Leitura 06	34	
	Leitura 07	34		Leitura 07	32		Leitura 07	33	
	Leitura 08	34		Leitura 08			Leitura 08	34	
90 dias		32,8			30,4			33,6	32,3

ECH L-30b

IE médio

1 dia									17,1
CP 01	Leitura 01		CP 02	Leitura 01	23	CP 03	Leitura 01	22,5	
	Leitura 02	20		Leitura 02			Leitura 02		
	Leitura 03			Leitura 03	22		Leitura 03		
	Leitura 04	23,5		Leitura 04	24		Leitura 04	22	
	Leitura 05			Leitura 05			Leitura 05	22,5	
	Leitura 06	21		Leitura 06	20,5		Leitura 06	24	
	Leitura 07	22		Leitura 07	24		Leitura 07	24	
	Leitura 08	23		Leitura 08			Leitura 08		
3 dias		21,9			22,7			23,0	22,5
CP 01	Leitura 01	25	CP 02	Leitura 01	23,5	CP 03	Leitura 01	23,5	
	Leitura 02	22		Leitura 02	22		Leitura 02		
	Leitura 03	25		Leitura 03			Leitura 03	21	
	Leitura 04	23,5		Leitura 04			Leitura 04	22,5	
	Leitura 05	22		Leitura 05	22		Leitura 05	22	
	Leitura 06	23,5		Leitura 06	22,5		Leitura 06		
	Leitura 07	23		Leitura 07	23,5		Leitura 07	24	

	Leitura 08	23		Leitura 08			Leitura 08	23	
7 dias		23,4			22,7			22,7	22,9
CP 01	Leitura 01	24	CP 02	Leitura 01	22	CP 03	Leitura 01	27	
	Leitura 02	26		Leitura 02	22,5		Leitura 02	26	
	Leitura 03	25		Leitura 03	22,5		Leitura 03	24	
	Leitura 04	23		Leitura 04			Leitura 04	28,5	
	Leitura 05	26		Leitura 05	25		Leitura 05	25	
	Leitura 06	26		Leitura 06			Leitura 06	24	
	Leitura 07	26		Leitura 07	26		Leitura 07		
	Leitura 08	25		Leitura 08			Leitura 08	25	
14 dias		25,1			23,6			25,6	24,8
CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01	29	CP 03	Leitura 01	30	
	Leitura 02			Leitura 02	29,5		Leitura 02	28	
	Leitura 03	31		Leitura 03	31		Leitura 03		
	Leitura 04	28		Leitura 04	30		Leitura 04		
	Leitura 05	32		Leitura 05	29		Leitura 05	31	
	Leitura 06	29		Leitura 06	29		Leitura 06		
	Leitura 07	28,5		Leitura 07	28		Leitura 07	31	
	Leitura 08	30		Leitura 08	32		Leitura 08	29	
28 dias		29,8			29,7			29,8	29,8
CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01	33	CP 03	Leitura 01	34	
	Leitura 02	29		Leitura 02	28		Leitura 02	34	
	Leitura 03	28		Leitura 03	28		Leitura 03	30	
	Leitura 04	31		Leitura 04	28		Leitura 04	29	
	Leitura 05	29		Leitura 05	32		Leitura 05	30	
	Leitura 06	31		Leitura 06	30		Leitura 06	30	
	Leitura 07	27		Leitura 07	31		Leitura 07	34	
	Leitura 08	32		Leitura 08	31		Leitura 08	30	
90 dias		29,6			30,1			31,4	30,4

EPV L-30a

EPV L-30b

			IE médio			IE médio
CP 01	Leitura 01	16				
	Leitura 02					
	Leitura 03					
	Leitura 04					
	Leitura 05	17,5				
	Leitura 06	14,5				
	Leitura 07	17				
	Leitura 08	15				
	Leitura 09	16				
	Leitura 10	16				
1 dia		16	16,00	1 dia		16,00
CP 01	Leitura 01	24		CP 01	Leitura 01	17,5

	Leitura 02	24
	Leitura 03	
	Leitura 04	25
	Leitura 05	22
	Leitura 06	24
	Leitura 07	24
	Leitura 08	23,5
	Leitura 09	
	Leitura 10	24

3 dias 23,8 **23,81**

	Leitura 02	18
	Leitura 03	20
	Leitura 04	19,5
	Leitura 05	
	Leitura 06	
	Leitura 07	21
	Leitura 08	19
	Leitura 09	22
	Leitura 10	

3 dias 19,6 **19,57**

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	26
	Leitura 03	26
	Leitura 04	25
	Leitura 05	
	Leitura 06	25
	Leitura 07	26
	Leitura 08	26
	Leitura 09	
	Leitura 10	24,5

7 dias 25,5 **25,50**

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	26
	Leitura 03	
	Leitura 04	25
	Leitura 05	27
	Leitura 06	24,5
	Leitura 07	25
	Leitura 08	26
	Leitura 09	24
	Leitura 10	25

7 dias 25,3 **25,31**

CP 01	Leitura 01	26
	Leitura 02	26
	Leitura 03	30
	Leitura 04	28
	Leitura 05	28
	Leitura 06	27
	Leitura 07	28
	Leitura 08	30
	Leitura 09	27,5
	Leitura 10	26,5

14 dias 27,7 **27,70**

CP 01	Leitura 01	29
	Leitura 02	
	Leitura 03	30
	Leitura 04	
	Leitura 05	28
	Leitura 06	
	Leitura 07	
	Leitura 08	26
	Leitura 09	27,5
	Leitura 10	

14 dias 28,1 **28,10**

CP 01	Leitura 01	27,5
	Leitura 02	27
	Leitura 03	
	Leitura 04	32
	Leitura 05	27,5
	Leitura 06	
	Leitura 07	32
	Leitura 08	29
	Leitura 09	
	Leitura 10	27,5

28 dias 28,9 **28,93**

CP 01	Leitura 01	
	Leitura 02	27
	Leitura 03	29
	Leitura 04	
	Leitura 05	
	Leitura 06	30
	Leitura 07	
	Leitura 08	28
	Leitura 09	
	Leitura 10	29,5

28 dias 28,7 **28,70**

CP 01	Leitura 01	36	CP 01	Leitura 01	34
	Leitura 02	36		Leitura 02	28
	Leitura 03	36		Leitura 03	
	Leitura 04			Leitura 04	29
	Leitura 05	34		Leitura 05	29
	Leitura 06	35		Leitura 06	29
	Leitura 07	34		Leitura 07	30
	Leitura 08	33		Leitura 08	30
	Leitura 09	36		Leitura 09	
	Leitura 10			Leitura 10	
90 dias	35	35,00	90 dias	29,9	29,86

PENETRAÇÃO DE PINOS

Concreto 20 MPa

3 dias

10 cm	m. cheia	m. vazia	m. pólvora	med. Pino	med. Pino	Média Pino	pino ent. 1	pino ent. 2	Média Pino	prof. Pen.
Cura ao Ar										
1	0,944	0,620	0,324	55,140	55,150	55,15	1,440	1,300	1,37	50,22
2	0,940	0,620	0,320	54,640	54,630	54,64	-3,280	-3,420	-3,35	54,43
3	0,956	0,627	0,329	55,260	55,260	55,26	2,420	2,470	2,45	49,26
4	0,945	0,625	0,320	54,540	54,550	54,55	-2,710	-2,640	-2,68	53,66
5	0,945	0,628	0,317	54,840	54,830	54,84	-1,740	-1,260	-1,50	52,78
6	0,943	0,619	0,324	54,790	54,790	54,79	1,820	0,180	1,00	50,23
7	0,946	0,620	0,326	54,650	54,650	54,65	-1,100	-0,370	-0,74	51,83
8	0,945	0,619	0,326	54,960	54,950	54,96	1,300	1,350	1,33	50,07
9	0,943	0,624	0,319	55,420	55,420	55,42	-5,300	-5,210	-5,26	57,12
10	0,940	0,620	0,320	55,330	55,340	55,34	6,850	7,350	7,10	
11	0,945	0,627	0,318	54,580	54,580	54,58	-7,670	-7,410	-7,54	58,56
12	0,943	0,624	0,319	54,480	54,480	54,48	1,830	1,760	1,80	49,13
13	0,945	0,624	0,321	54,740	54,750	54,75	-4,050	-3,730	-3,89	55,08
14	0,940	0,622	0,318	55,310	55,310	55,31	-6,040	-6,100	-6,07	57,82
Média	0,944	0,623	0,322	54,906	54,906	54,906	-1,159	-1,124	-1,141	53,088
desvio	0,004	0,003	0,004	0,327	0,328	0,328	3,986	3,948	3,958	3,320
% erro	0,418	0,512	1,136	0,596	0,60	0,60	-343,82	351,406	346,724	6,253
Cura Úmida										
1	0,943	0,627	0,316	55,1	55,09	55,10	-3,52	-2,99	-3,26	54,79
2	0,934	0,619	0,315	54,86	54,85	54,86	0	-0,66	-0,33	51,63
3	0,936	0,615	0,321	54,89	54,9	54,90	-6,37	-6,31	-6,34	57,68
4	0,95	0,627	0,323	55,3	55,3	55,30	-8,94	-8,54	-8,74	60,48
5	0,943	0,624	0,319	54,96	54,97	54,97	-6,72	-7,17	-6,95	58,35
6	0,944	0,619	0,325	54,61	54,61	54,61	2,34	2,08	2,21	48,84
7	0,931	0,626	0,305	54,8	54,79	54,80	-6,64	-6,61	-6,63	57,86
8	0,945	0,619	0,326	55,15	55,16	55,16	-0,43	-0,78	-0,61	52,20

9	0,937	0,62	0,317	55,01	55,01	55,01	2,22	1,46	1,84	49,61
10	0,0943	0,624	-0,530	54,68	54,68	54,68	-1,81	-1,72	-1,77	52,89
Média	0,856	0,622	0,234	54,936	54,936	54,936	-2,987	-3,124	-3,056	54,432
desvio	0,268	0,004	0,268	0,213	0,215	0,214	4,038	3,796	3,913	4,001
% erro	31,272	0,665	114,795	0,388	0,39	0,39	-135,20	121,496	128,063	7,351

7 dias

10 cm	m. cheia	m. vazia	m. pólvora	med. Pino	med. Pino	Média Pino	pino ent. 1	pino ent. 2	Média Pino	prof. Pen.
Cura ao Ar										
1	0,956	0,643	0,313	55,400	55,400	55,40	9,460	9,340	9,40	42,44
2	0,950	0,629	0,321	55,340	55,340	55,34	2,440	1,990	2,22	
3	0,968	0,653	0,315	55,480	55,490	55,49	11,340	10,470	10,91	41,02
4	0,968	0,653	0,315	54,580	54,580	54,58	11,930	11,480	11,71	39,32
5	0,957	0,642	0,315	54,740	54,740	54,74	9,240	9,350	9,30	41,89
6	0,955	0,633	0,322	55,280	55,290	55,29	15,130	15,370	15,25	36,48
7	0,942	0,618	0,324	54,800	54,810	54,81	12,710	12,570	12,64	38,61
8	0,955	0,633	0,322	54,640	54,640	54,64	3,790	3,500	3,65	47,44
9	0,980	0,644	0,336	54,760	54,760	54,76	17,960	17,490	17,73	
10	0,950	0,624	0,326	54,540	54,530	54,54	5,810	6,050	5,93	45,05
11	0,947	0,629	0,318	54,620	54,630	54,63	-1,970	-2,430	-2,20	
12	0,944	0,623	0,321	55,280	55,280	55,28	13,980	14,090	14,04	37,69
13	0,949	0,632	0,317	54,940	54,930	54,94	14,070	13,920	14,00	37,38
14	0,971	0,653	0,318	54,760	54,750	54,76	8,060	7,450	7,76	43,44
Média	0,957	0,636	0,320	54,940	54,941	54,940	9,568	9,331	9,450	40,975
desvio	0,011	0,012	0,006	0,340	0,342	0,341	5,502	5,572	5,535	3,460
% erro	1,170	1,840	1,854	0,618	0,62	0,62	57,50	59,716	58,571	8,444
Cura Úmida										
1	0,958	0,635	0,323	55,39	55,39	55,39	5,61	4,23	4,92	46,91
2	0,956	0,64	0,316	55,52	55,52	55,52	7,67	7,59	7,63	44,33
3	0,967	0,648	0,319	55,53	55,53	55,53	1,05	0,33	0,69	51,28
4	0,968	0,648	0,320	55,17	55,17	55,17	8,16	7,8	7,98	43,63
5	0,944	0,624	0,320	55,42	55,41	55,42	-4,51	-4,54	-4,53	
6	0,958	0,637	0,321	55,06	55,06	55,06	-0,37	-1,51	-0,94	52,44
7	0,952	0,639	0,313	54,63	54,65	54,64	8,24	8,46	8,35	42,73
8	0,967	0,648	0,319	55,01	55,02	55,02	9,71	8,6	9,16	42,30
9	0,965	0,648	0,317	54,67	54,67	54,67	5,13	4,57	4,85	46,26
10	0,944	0,624	0,320	55,08	55,08	55,08	4,26	3,35	3,81	47,72
Média	0,958	0,639	0,319	55,148	55,150	55,149	4,495	3,888	4,192	46,399
desvio	0,009	0,009	0,003	0,324	0,319	0,322	4,510	4,544	4,519	3,615
% erro	0,948	1,471	0,885	0,588	0,58	0,58	100,33	116,867	107,813	7,791

14 dias

10 cm	m. cheia	m. vazia	m. pólvora	med. Pino	med. Pino	Média Pino	pino ent. 1	pino ent. 2	Média Pino	prof. Pen.
Cura ao Ar										
1	0,964	0,646	0,318	54,920	54,930	54,93	9,590	9,380	9,49	41,88
2	0,940	0,622	0,318	54,730	54,740	54,74	14,220	13,840	14,03	37,15
3	0,952	0,631	0,321	55,060	55,060	55,06	13,050	12,670	12,86	38,64
4	0,945	0,617	0,328	54,800	54,810	54,81	12,040	12,090	12,07	39,18
5	0,977	0,645	0,332	55,090	55,090	55,09	11,690	11,550	11,62	39,91
6	0,944	0,625	0,319	54,820	54,820	54,82	14,530	14,270	14,40	36,86
7	0,944	0,620	0,324	55,230	55,240	55,24	15,330	15,130	15,23	36,45
8	0,944	0,622	0,322	55,150	55,150	55,15	1,160	1,300	1,23	
9	0,952	0,626	0,326	55,200	55,200	55,20	8,550	8,300	8,43	43,22
10	0,943	0,619	0,324	54,880	54,880	54,88	1,890	1,490	1,69	
11	0,944	0,625	0,319	54,760	54,750	54,76	17,810	17,700	17,76	
12	0,953	0,631	0,322	54,760	54,770	54,77	14,390	14,580	14,49	36,72
13	0,969	0,653	0,316	55,340	55,330	55,34	14,970	14,710	14,84	36,94
14	0,971	0,651	0,320	54,640	54,650	54,65	12,800	12,540	12,67	38,42
Média	0,953	0,631	0,322	54,956	54,959	54,957	11,573	11,396	11,485	38,668
desvio	0,012	0,012	0,004	0,219	0,217	0,218	4,863	4,853	4,857	2,240
% erro	1,281	1,978	1,364	0,399	0,39	0,40	42,02	42,584	42,292	5,794
Cura Úmida										
1	0,937	0,623	0,314	54,64	54,65	54,65	-2,17	-2,37	-2,27	
2	0,94	0,618	0,322	54,83	54,83	54,83	9,88	9,5	9,69	41,64
3	0,944	0,622	0,322	55,2	55,2	55,20	2,37	2,02	2,20	49,51
4	0,945	0,619	0,326	54,66	54,66	54,66	-1,45	-0,45	-0,95	
5	0,958	0,639	0,319	54,67	54,64	54,66	11,24	11,3	11,27	39,89
6	0,954	0,633	0,321	54,6	54,6	54,60	4,48	5,44	4,96	46,14
7	0,952	0,631	0,321	54,81	54,81	54,81	15,92	15,68	15,80	
8	0,941	0,618	0,323	54,79	54,79	54,79	10,72	11,25	10,99	40,31
9	0,954	0,632	0,322	54,77	54,76	54,77	10,64	10,42	10,53	40,74
10	0,956	0,637	0,319	55,51	55,51	55,51	20,37	20,54	20,46	
Média	0,948	0,627	0,321	54,848	54,845	54,847	8,200	8,333	8,267	43,035
desvio	0,008	0,008	0,003	0,288	0,289	0,289	7,307	7,195	7,247	3,902
% erro	0,795	1,288	0,979	0,525	0,53	0,53	89,11	86,346	87,663	9,066

28 dias

10 cm	m. cheia	m. vazia	m. pólvora	med. Pino	med. Pino	Média Pino	pino ent. 1	pino ent. 2	Média Pino	prof. Pen.
Cura ao Ar										
1	0,969	0,648	0,321	55,220	55,230	55,23	11,930	11,920	11,93	39,74
2	0,950	0,629	0,321	54,830	54,830	54,83	13,810	14,240	14,03	37,25
3	0,954	0,638	0,316	54,840	54,830	54,84	16,060	16,110	16,09	35,19
4	0,949	0,628	0,321	54,710	54,710	54,71	19,150	18,910	19,03	32,12
5	0,970	0,653	0,317	55,240	55,240	55,24	20,590	20,310	20,45	31,23
6	0,937	0,623	0,314	54,900	54,900	54,90	14,790	15,400	15,10	36,25

7	0,950	0,634	0,316	55,120	55,110	55,12	19,030	19,300	19,17	32,39
8	0,967	0,653	0,314	54,910	54,920	54,92	18,950	19,230	19,09	32,27
9	0,962	0,637	0,325	55,320	55,320	55,32	12,760	12,990	12,88	38,89
10	0,964	0,647	0,317	54,730	54,730	54,73	14,340	14,360	14,35	36,82
11	0,940	0,622	0,318	54,530	54,540	54,54	17,330	16,640	16,99	33,99
12	0,954	0,634	0,320	54,800	54,810	54,81	11,560	11,580	11,57	39,68
13	0,950	0,636	0,314	55,110	55,100	55,11	18,060	17,530	17,80	33,75
14	0,963	0,635	0,328	55,050	55,050	55,05	10,900	10,560	10,73	40,76
Média	0,956	0,637	0,319	54,951	54,951	54,951	15,661	15,649	15,655	35,736
desvio	0,010	0,010	0,004	0,231	0,229	0,230	3,224	3,167	3,190	3,215
%										
erro	1,092	1,584	1,322	0,420	0,42	0,42	20,58	20,238	20,377	8,995
Cura Úmida										
1	0,95	0,629	0,321	55,24	55,23	55,24	13,96	14	13,98	37,70
2	0,954	0,634	0,320	55,12	55,13	55,13	6,93	6	6,47	
3	0,938	0,616	0,322	54,65	54,65	54,65	8,73	8,33	8,53	42,56
4	0,95	0,629	0,321	55,34	55,34	55,34	16,67	16,53	16,60	35,18
5	0,959	0,636	0,323	54,65	54,64	54,65	14,4	14,15	14,28	36,81
6	0,964	0,647	0,317	55,46	55,45	55,46	16,78	16,15	16,47	35,43
7	0,964	0,647	0,317	55,13	55,13	55,13	22,04	21,95	22,00	
8	0,965	0,646	0,319	55,25	55,25	55,25	18,73	18,29	18,51	33,18
9	0,974	0,648	0,326	54,86	54,86	54,86	13,76	13,38	13,57	37,73
10	0,945	0,62	0,325	54,61	54,61	54,61	11,18	10,79	10,99	40,07
Média	0,956	0,635	0,321	55,031	55,029	55,030	14,318	13,957	14,138	37,331
desvio	0,011	0,012	0,003	0,314	0,313	0,313	4,556	4,708	4,630	2,948
%										
erro	1,136	1,846	0,945	0,570	0,57	0,57	31,82	33,731	32,752	7,898

90 dias

10 cm	m. cheia	m. vazia	m. pólvora	med. Pino	med. Pino	Média Pino	pino ent. 1	pino ent. 2	Média Pino	prof. Pen.
Cura ao Ar										
1	0,965	0,647	0,318	55,010	55,020	55,02	20,060	19,780	19,92	31,00
2	0,931	0,616	0,315	55,180	55,160	55,17	20,320	19,360	19,84	31,23
3	0,968	0,649	0,319	54,840	54,850	54,85	19,840	19,710	19,78	30,97
4	0,954	0,630	0,324	55,480	55,480	55,48	20,180	21,520	20,85	30,53
5	0,937	0,620	0,317	55,400	55,390	55,40	32,650	32,930	32,79	
6	0,956	0,638	0,318	54,780	54,790	54,79	20,050	20,350	20,20	30,49
7	0,934	0,620	0,314	55,050	55,050	55,05	24,340	24,510	24,43	26,53
8	0,959	0,643	0,316	54,780	54,780	54,78	21,760	22,010	21,89	28,80
9	0,926	0,617	0,309	55,460	55,470	55,47	22,420	22,320	22,37	29,00
10	0,939	0,622	0,317	54,980	54,990	54,99	20,170	20,510	20,34	30,55
11	0,940	0,618	0,322	55,080	55,070	55,08	19,880	19,910	19,90	31,08
12	0,970	0,653	0,317	55,490	55,490	55,49	24,630	23,590	24,11	27,28
13	0,936	0,646	0,290	54,660	54,650	54,66	25,600	25,570	25,59	24,97
14	0,940	0,620	0,320	54,860	54,870	54,87	24,200	24,620	24,41	26,36
Média	0,947	0,631	0,315	55,075	55,076	55,075	22,579	22,621	22,600	29,135
desvio	0,015	0,014	0,008	0,286	0,284	0,285	3,567	3,609	3,576	2,164

% erro	1,555	2,203	2,581	0,519	0,52	0,52	15,80	15,953	15,822	7,429
Cura Úmida										
1	0,945	0,62	0,325	55,27	55,27	55,27	13,8	13,33	13,57	37,61
2	0,963	0,646	0,317	55,19	55,18	55,19	25,27	25	25,14	
3	0,945	0,626	0,319	55,51	55,5	55,51	22,99	22,77	22,88	28,53
4	0,956	0,638	0,318	55,44	55,45	55,45	22,02	21,99	22,01	29,34
5	0,966	0,648	0,318	54,98	54,96	54,97	16,97	17,37	17,17	33,70
6	0,954	0,636	0,318	55,28	55,27	55,28	24,24	25,09	24,67	26,51
7	0,958	0,643	0,315	54,84	54,86	54,85	20,95	21,36	21,16	29,60
8	0,924	0,611	0,313	55,51	55,52	55,52	22,08	21	21,54	29,88
9	0,973	0,652	0,321	54,76	54,78	54,77	16,49	16,85	16,67	34,00
10	0,93	0,616	0,314	54,87	54,88	54,88	22,8	23,41	23,11	27,67
Média	0,951	0,634	0,318	55,165	55,167	55,166	20,761	20,817	20,789	30,758
desvio	0,016	0,014	0,003	0,285	0,280	0,282	3,742	3,825	3,772	3,584
% erro	1,635	2,279	1,098	0,516	0,51	0,51	18,02	18,374	18,146	11,652

ENERGIA DE ATIVAÇÃO

Concreto 20 MPa

Energia de Ativação - 20 Mpa - 13°C

Horas Até 4 MPa	34:00:00					
Data e Hora da Mistura	23/9/05 13:35	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	24/9/05 23:35	10,30	10,36	10,16	34	4,1
Data e Hora Ensaio 2	26/9/05 9:35	24,12	25,44	25,34	68	10,0
Data e Hora Ensaio 3	29/9/05 5:35	35,65	36,20	37,70	136	14,6
Data e Hora Ensaio 4	4/10/05 21:35	37,95	36,95	45,80	272	15,0
Data e Hora Ensaio 5	16/10/05 6:35	51,55	51,55	54,05	544	21,0
Data e Hora Ensaio 6	7/11/05 22:35	61,55	61,15	62,65	1088	24,7

Energia de Ativação - 20 Mpa - 30°C

Horas Até 4 MPa	17:30					
Data e Hora da Mistura	30/9/05 10:10	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	1/10/05 3:40	13,30	13,38	13,52	17,5	5,4
Data e Hora Ensaio 2	1/10/05 21:10	29,78	29,68	28,34	35	11,7
Data e Hora Ensaio 3	3/10/05 8:10	35,90	35,95	40,35	70	15,0
Data e Hora Ensaio 4	6/10/05 6:10	47,80	44,40	48,90	140	18,8
Data e Hora Ensaio 5	12/10/05 2:10	56,85	60,15	61,20	280	23,8
Data e Hora Ensaio 6	23/10/05 19:10	75,75	70,85	74,60	560	29,5

Energia de Ativação - 20 Mpa – 50°C

Horas Até 4 MPa	8:30					
Data e Hora da Mistura	20/10/05 16:25	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	21/10/05 0:55	9,92	9,68	10,70	8,5	4,0
Data e Hora Ensaio 2	21/10/05 9:25	24,22	25,60	25,80	17	10,1
Data e Hora Ensaio 3	22/10/05 2:25	35,40	34,85	35,10	34	14,0
Data e Hora Ensaio 4	23/10/05 12:25	48,60	50,20	51,15	68	20,0
Data e Hora Ensaio 5	26/10/05 8:25	67,50	68,25	67,88	136	27,2
Data e Hora Ensaio 6	1/11/05 0:25	77,75	71,95	82,00	272	30,9

Concreto de 25 MPa
Energia de Ativação - 25 Mpa – 13°C

Horas Até 4 MPa	30:00:00					
Data e Hora da Mistura	16/9/05 10:30	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	17/9/05 16:30	9,94	11,88	12,74	30	4,6
Data e Hora Ensaio 2	18/9/05 22:30	27,64	26,82	26,02	60	10,7
Data e Hora Ensaio 3	21/9/05 10:30	48,50	45,60	50,20	120	19,2
Data e Hora Ensaio 4	26/9/05 10:30	59,70	57,10	56,35	240	23,1
Data e Hora Ensaio 5	6/10/05 10:30	73,35	69,55	72,50	480	28,7
Data e Hora Ensaio 6	26/10/05 11:30	75,20	82,80	84,60	960	32,3

Energia de Ativação - 25 Mpa – 30°C

Horas Até 4 MPa	14:00					
Data e Hora da Mistura	4/10/05 9:30	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	4/10/05 23:30	9,62	9,44	10,18	14	3,9
Data e Hora Ensaio 2	5/10/05 13:30	31,00	32,02	26,04	28	12,6
Data e Hora Ensaio 3	6/10/05 17:30	39,65	43,40	42,75	56	16,8
Data e Hora Ensaio 4	9/10/05 1:30	50,95	49,80	48,25	112	19,9
Data e Hora Ensaio 5	13/10/05 17:30	68,90	59,55	64,35	224	25,7
Data e Hora Ensaio 6	23/10/05 2:30	83,10	81,80	80,60	448	32,7

Energia de Ativação - 25 Mpa – 50°C

Horas Até 4 MPa	7:30					
Data e Hora da Mistura	21/10/05 9:55	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	21/10/05 17:25	9,56	9,68	9,34	7,5	3,8
Data e Hora Ensaio 2	22/10/05 0:55	31,34	31,00	30,52	15	12,4
Data e Hora Ensaio 3	22/10/05 15:55	47,30	44,55	42,85	30	18,0

Data e Hora Ensaio 4	23/10/05 21:55	60,75	66,25	58,85	60	24,8
Data e Hora Ensaio 5	26/10/05 9:55	86,50	70,20	79,35	120	31,5
Data e Hora Ensaio 6	31/10/05 9:55	80,70	94,20	87,45	240	35,0

Concreto 30 MPa

Energia de Ativação - 30 Mpa – 13°C

Horas Até 4 MPa	28:00:00					
Data e Hora da Mistura	27/9/05 8:50	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	28/9/05 12:50	13,12	12,76	13,34	28	5,2
Data e Hora Ensaio 2	29/9/05 16:50	38,30	36,00	38,30	56	15,0
Data e Hora Ensaio 3	2/10/05 0:50	51,75	52,05	52,30	112	20,8
Data e Hora Ensaio 4	6/10/05 16:50	68,45	69,00	73,60	224	28,1
Data e Hora Ensaio 5	16/10/05 1:50	80,15	84,05	80,40	448	32,6
Data e Hora Ensaio 6	3/11/05 17:50	91,65	89,60	90,55	896	36,2

Energia de Ativação - 30 Mpa – 30°C

Horas Até 4 MPa	16:00					
Data e Hora da Mistura	11/10/05 9:10	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	12/10/05 1:10	9,30	9,34	9,72	16	3,8
Data e Hora Ensaio 2	12/10/05 17:10	38,95	40,90	33,95	32	15,2
Data e Hora Ensaio 3	14/10/05 1:10	52,55	52,10	50,70	64	20,7
Data e Hora Ensaio 4	16/10/05 18:10	68,75	67,95	67,05	128	27,2
Data e Hora Ensaio 5	22/10/05 2:10	85,25	84,55	84,50	256	33,9
Data e Hora Ensaio 6	1/11/05 18:10	97,30	87,65	102,40	512	38,3

Energia de Ativação - 30 Mpa – 50°C

Horas Até 4 MPa	8:00					
Data e Hora da Mistura	25/10/05 8:50	CP 01	CP 02	CP 03	Horas	fc
Data e Hora Ensaio 1	25/10/05 16:50	10,30	11,50	11,06	8	4,4
Data e Hora Ensaio 2	26/10/05 0:50	29,65	30,95	30,15	16	12,1
Data e Hora Ensaio 3	26/10/05 16:50	52,25	47,60	51,60	32	20,2
Data e Hora Ensaio 4	28/10/05 0:50	70,45	69,40	71,95	64	28,2
Data e Hora Ensaio 5	30/10/05 16:50	82,65	86,45	86,40	128	34,1
Data e Hora Ensaio 6	5/11/05 0:50	104,10	100,00	102,50	256	40,9

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)

Concreto 20 MPa

L-20a

Cilindro 01	45
Cilindro 02	42,4
Cilindro 03	42

1 Dia 43,1 **5,5**

Cilindro 01	101
Cilindro 02	104,6
Cilindro 03	103,2

3 dias 102,9 **13,1**

Cilindro 01	135,8
Cilindro 02	141,6
Cilindro 03	137,2

7 dias 138,2 **17,6**

Cilindro 01	162
Cilindro 02	161,6
Cilindro 03	155,4

14 dias 159,7 **20,3**

Cilindro 01	163,2
Cilindro 02	158
Cilindro 03	179

28 dias 166,7 **21,2**

Cilindro 01	201,2
Cilindro 02	184,6
Cilindro 03	218,2

90 dias 201,3 **25,6**

L-20b

Cilindro 01	107,6
Cilindro 02	110,4
Cilindro 03	107,8

1 5,5

3 108,6 **13,8**

Cilindro 01	144
Cilindro 02	132,6
Cilindro 03	138,2

7 138,3 **17,6**

Cilindro 01	161
Cilindro 02	152,2
Cilindro 03	

14 156,6 **19,9**

Cilindro 01	178,4
Cilindro 02	175,6
Cilindro 03	184,8

28 179,6 **22,9**

Cilindro 01	242,8
Cilindro 02	244,4
Cilindro 03	234,2

90 240,5 **30,6**

Concreto 25 MPa

L-25a

Cilindro 01	51,6
Cilindro 02	65,2
Cilindro 03	57,8

1 dia 58,2 **7,4**

L-25b

1 7,4

Cilindro 01	131,5
Cilindro 02	130,4
Cilindro 03	132,8
3 dias	131,6 16,8

Cilindro 01	143
Cilindro 02	146
Cilindro 03	140,2
3	143,1 18,2

Cilindro 01	172,6
Cilindro 02	167,2
Cilindro 03	169,2
7 dias	169,7 21,6

Cilindro 01	186,4
Cilindro 02	186,2
Cilindro 03	186
7	186,2 23,7

Cilindro 01	178,8
Cilindro 02	186,6
Cilindro 03	203,2
14 dias	189,5 24,1

Cilindro 01	206,8
Cilindro 02	212,8
Cilindro 03	220,4
14	213,3 27,2

Cilindro 01	199,6
Cilindro 02	219,8
Cilindro 03	217,6
28 dias	212,3 27,0

Cilindro 01	261,6
Cilindro 02	263,4
Cilindro 03	224,2
28	249,7 31,8

Cilindro 01	319,4
Cilindro 02	310
Cilindro 03	291,6
90 dias	307 39,1

Cilindro 01	321,4
Cilindro 02	315,6
Cilindro 03	312,8
90	316,6 40,3

Concreto 30 MPa

L-30a

L-30b

Cilindro 01	71,8
Cilindro 02	58,2
Cilindro 03	65,6
1 dia	65,2 8,3

1 8,3

Cilindro 01	169,6
Cilindro 02	162,6
Cilindro 03	169,6
3 dias	167,3 21,3

Cilindro 01	173,9
Cilindro 02	169,4
Cilindro 03	163,4
3	168,9 21,5

Cilindro 01	186,4
Cilindro 02	209
Cilindro 03	199,4
7 dias	198,3 25,2

Cilindro 01	198
Cilindro 02	205,6
Cilindro 03	193
7	198,9 25,3

Cilindro 01	237,8
Cilindro 02	249,2

Cilindro 01	
Cilindro 02	246

Cilindro 03	252,2	
14 dias	246,4	31,4
Cilindro 01	251,8	
Cilindro 02	288,4	
Cilindro 03	237,5	
28 dias	259,2	33,0

Cilindro 01	317,6	
Cilindro 02	342,8	
Cilindro 03	350	
90 dias	336,8	42,9

Cilindro 03	248,6	
14 dias	247,3	31,5
Cilindro 01	268	
Cilindro 02	293,4	
Cilindro 03	290,6	
28 dias	284	36,2

Cilindro 01	372,6	
Cilindro 02	328,8	
Cilindro 03		
90 dias	350,7	44,7

APÊNDICE B

Resultados dos Ensaaios da Segunda Etapa – Obra

Obra 01 - 30 MPa - 7 Dias (21/10/05) - Slump 10,5cm

Pilar 01 – ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	27
Leitura 02	30
Leitura 03	28
Leitura 04	30
Leitura 05	27
Leitura 06	28
Leitura 07	30
Leitura 08	29
Leitura 09	27
Leitura 10	31
Leitura 11	29
Leitura 12	26
Leitura 13	
Leitura 14	27
Leitura 15	27
Leitura 16	30
7	28,4

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	33,0	P 02	L	33,2	P 03	L	33,3
	Leitura 01	81,6		Leitura 01	80,8		Leitura 01	81,9
	Leitura 02	81,6		Leitura 02	80,8		Leitura 02	81,9
		81,60			80,80			81,90
		4044,1			4108,9			4065,9
P 04	L	33,0	P 05	L	33,1			
	Leitura 01	83,0		Leitura 01	81,9			
	Leitura 02	83,0		Leitura 02	81,9			
		83,00			81,90			
7		3975,9			4041,5			4047

Pilar 02 – ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	32
Leitura 02	34
Leitura 03	30
Leitura 04	30
Leitura 05	31
Leitura 06	31
Leitura 07	
Leitura 08	35
Leitura 09	35

Leitura 10	31
Leitura 11	30
Leitura 12	32
Leitura 13	
Leitura 14	32
Leitura 15	30
Leitura 16	29
7	31,6

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	25,0	P 02	L	25,1	P 03	L	25,4
	Leitura 01	63,6		Leitura 01	63,1		Leitura 01	64,7
	Leitura 02	63,6		Leitura 02	63,1		Leitura 02	65,5
63,60			63,10			65,10		
3977,8								

P 04	L	25,1	P 05	L	25,1	4005
	Leitura 01	64,3		Leitura 01	62,3	
	Leitura 02	64,7		Leitura 02	62,2	
64,50			62,25			
4032,1						

Cilindros – Esclerometria (IE)

CP 01	Leitura 01	24	CP 02	Leitura 01	26	CP 03	Leitura 01	27
	Leitura 02			Leitura 02	26		Leitura 02	28
	Leitura 03	24		Leitura 03	26		Leitura 03	28
	Leitura 04	24		Leitura 04	25		Leitura 04	28
	Leitura 05			Leitura 05	23		Leitura 05	28
	Leitura 06	22		Leitura 06	26		Leitura 06	29
	Leitura 07	24		Leitura 07	26		Leitura 07	26
	Leitura 08	24		Leitura 08	24		Leitura 08	27
7			23,67			25,25		
27,63								
25,5								

Cilindros - ULTRA-SOM (m/s)

CP 01	L	20	CP 02	L	20,1	CP 03	L	20
	Leitura 01	45,6		Leitura 01	47,3		Leitura 01	45,9
	Leitura 02	45,5		Leitura 02	46,7		Leitura 02	45,6
45,55			47,00			45,75		
7								
4390,8			4276,6			4371,6		
4346								

COMPRESSÃO (MPa)

Cilindro 01	178,2
Cilindro 02	171,8
Cilindro 03	184,6

7 178,2

22,7**Obra 01 - 30 MPa - 14 Dias (28/10/05) - Slump 10,5cm****Pilar 01 - ESCLEROMETRIA (IE)**

Leitura 01	31
Leitura 02	
Leitura 03	31
Leitura 04	32
Leitura 05	
Leitura 06	31
Leitura 07	
Leitura 08	
Leitura 09	34
Leitura 10	36
Leitura 11	34
Leitura 12	
Leitura 13	32
Leitura 14	32
Leitura 15	30
Leitura 16	

14 **32,3****Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)**

P 01	L	33,0	P 02	L	33,2	P 03	L	33,3
	Leitura 01	80,0		Leitura 01	79,0		Leitura 01	80,5
	Leitura 02	80,3		Leitura 02	79,1		Leitura 02	80,0
		80,15			79,05			80,25
		4117,3			4199,9			4149,5

P 04	L	33,0	P 05	L	33,1
	Leitura 01	81,4		Leitura 01	80,4
	Leitura 02	81,3		Leitura 02	80,1
		81,35			80,25

14 4056,5

4124,6

4130

Pilar 02 - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	35
Leitura 02	30
Leitura 03	30
Leitura 04	34
Leitura 05	32
Leitura 06	32
Leitura 07	
Leitura 08	31
Leitura 09	34
Leitura 10	34
Leitura 11	32
Leitura 12	30
Leitura 13	34
Leitura 14	31
Leitura 15	32
Leitura 16	30
14	32,1

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	25,0	P 02	L	25,1	P 03	L	25,4
	Leitura 01	58,6		Leitura 01	60,4		Leitura 01	61,6
	Leitura 02	58,7		Leitura 02	60,3		Leitura 02	61,4
		58,65			60,35			61,50
		4262,6			4159,1			4130,1
P 04	L	25,1	P 05	L	25,1			
	Leitura 01	61,1		Leitura 01	59,3			
	Leitura 02	60,9		Leitura 02	59,4			
		61,00			59,35			
14		4114,8			4229,1			4179

Obra 01 - 30 MPa - 21 Dias (04/11/05) - Slump 10,5cm**Pilar 01 - ESCLEROMETRIA (IE)**

Leitura 01	35
Leitura 02	
Leitura 03	32
Leitura 04	
Leitura 05	34
Leitura 06	34

Leitura 07	34
Leitura 08	34
Leitura 09	35
Leitura 10	
Leitura 11	
Leitura 12	32
Leitura 13	36
Leitura 14	32
Leitura 15	33
Leitura 16	36
21	33,9

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	33,0	P 02	L	33,2	P 03	L	33,3
	Leitura 01	79,8		Leitura 01	77,7		Leitura 01	79,0
	Leitura 02	79,2		Leitura 02	77,6		Leitura 02	78,8
		79,50			77,65			78,90
		4150,9			4275,6			4220,5
P 04	L	33,0	P 05	L	33,1			
	Leitura 01	79,9		Leitura 01	79,1			
	Leitura 02	79,7		Leitura 02	79,2			
		79,80			79,15			
21		4135,3			4181,9	4193		

Pilar 02 - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	
Leitura 02	36
Leitura 03	36
Leitura 04	34
Leitura 05	30
Leitura 06	30
Leitura 07	
Leitura 08	30
Leitura 09	32
Leitura 10	30
Leitura 11	
Leitura 12	34
Leitura 13	31
Leitura 14	31
Leitura 15	31
Leitura 16	35
21	32,3

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	25,0	P 02	L	25,1	P 03	L	25,4
	Leitura 01	58,6		Leitura 01	59,6		Leitura 01	60,5
	Leitura 02	58,8		Leitura 02	59,7		Leitura 02	60,8
		58,70			59,65			60,65
		4258,9			4207,9			4188,0
P 04	L	25,1	P 05	L	25,1			
	Leitura 01	59,3		Leitura 01	59,2			
	Leitura 02	59,7		Leitura 02	58,8			
		59,50			59,00			
		4218,5			4254,2			4226

Obra 01 - 30 MPa - 28 Dias (11/11/05) - Slump 10,5cm**Pilar 01 - ESCLEROMETRIA (IE)**

Leitura 01	34
Leitura 02	32
Leitura 03	35
Leitura 04	34
Leitura 05	34
Leitura 06	
Leitura 07	34
Leitura 08	36
Leitura 09	37
Leitura 10	37
Leitura 11	32
Leitura 12	33
Leitura 13	
Leitura 14	
Leitura 15	33
Leitura 16	
28	34,3

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	33,0	P 02	L	33,2	P 03	L	33,3
	Leitura 01	77,8		Leitura 01	76,9		Leitura 01	77,5
	Leitura 02	77,8		Leitura 02	77,2		Leitura 02	77,6
		77,80			77,05			77,55
		4241,6			4308,9			4294,0

P 04	L	33,0	P 05	L	33,1
	Leitura 01	79,3		Leitura 01	77,7
	Leitura 02	79,3		Leitura 02	77,6
		79,30			77,65
28	4161,4				4262,7

4254**Pilar 02 – ESCLEROMETRIA (IE)**

Leitura 01	33
Leitura 02	32
Leitura 03	35
Leitura 04	34
Leitura 05	34
Leitura 06	
Leitura 07	34
Leitura 08	36
Leitura 09	37
Leitura 10	37
Leitura 11	32
Leitura 12	33
Leitura 13	
Leitura 14	
Leitura 15	33
Leitura 16	
28	34,2

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	25,0	P 02	L	25,1	P 03	L	25,4
	Leitura 01	58,2		Leitura 01	58,2		Leitura 01	60,0
	Leitura 02	58,0		Leitura 02	58,5		Leitura 02	59,8
		58,10			58,35			59,90
		4302,9			4301,6			4240,4

P 04	L	25,1	P 05	L	25,1
	Leitura 01	59,5		Leitura 01	57,8
	Leitura 02	59,9		Leitura 02	57,6
		59,70			57,70
28	4204,4				4350,1

4280**Cilind. - Esclerometria – Obra (IE)**

CP 01	Leitura 01		CP 02	Leitura 01	32	CP 03	Leitura 01	32
	Leitura 02	28		Leitura 02	30		Leitura 02	30
	Leitura 03	32		Leitura 03			Leitura 03	32
	Leitura 04	31		Leitura 04			Leitura 04	30

	Leitura 05	29		Leitura 05			Leitura 05	33
	Leitura 06			Leitura 06	33		Leitura 06	30
	Leitura 07	35		Leitura 07			Leitura 07	34
	Leitura 08	35		Leitura 08	30		Leitura 08	32
28		31,67			31,25			31,63
								31,5

Cilind. - ULTRA-SOM – Obra (m/s)

CP 01	L	20	CP 02	L	20	CP 03	L	21
	Leitura 01	43,5		Leitura 01	44,3		Leitura 01	43,9
	Leitura 02	43,7		Leitura 02	44,5		Leitura 02	43,4
		43,60			44,40			43,65
28		4587,2			4504,5			4811,0
								4634

COMPRESSÃO – Obra (MPa)

Cilindro 01	35
Cilindro 02	33
Cilindro 03	26,7
28	34,0

Cilindros - Esclerometria – Concreteira (IE)

CP 01	Leitura 01	30	CP 02	Leitura 01	30	CP 03	Leitura 01	26
	Leitura 02	31		Leitura 02	26		Leitura 02	30
	Leitura 03	30		Leitura 03	26		Leitura 03	27
	Leitura 04	30		Leitura 04	33		Leitura 04	28
	Leitura 05	33		Leitura 05	28		Leitura 05	27
	Leitura 06	31		Leitura 06	27		Leitura 06	26
	Leitura 07	32		Leitura 07	31		Leitura 07	30
	Leitura 08	31		Leitura 08	29		Leitura 08	26
28		31,00			28,75			27,50
								29,1

Cilind. – Ultra-som – Concret. (IE)

CP 01	L	19,5	CP 02	L	20	CP 03	L	19,9
	Leitura 01	42,9		Leitura 01	43,7		Leitura 01	41,5
	Leitura 02	43,1		Leitura 02	43,4		Leitura 02	41,6
		43,00			43,55			41,55
28		4534,9			4592,4			4789,4
								4639

COMPRESSÃO – polimix (MPa)

Cilindro 01	33,6
Cilindro 02	32,7
Cilindro 03	36,7
28	34,3

Obra 02 - 30 MPa - 7 Dias (24/10/05) - Slump 12,0cm**Pilar 01 (20x100) – ESCLEROMETRIA (IE)**

Leitura 01	
Leitura 02	25
Leitura 03	24
Leitura 04	28
Leitura 05	25
Leitura 06	24
Leitura 07	26
Leitura 08	26
Leitura 09	26
Leitura 10	
Leitura 11	25
Leitura 12	25
Leitura 13	28
Leitura 14	25
Leitura 15	28
Leitura 16	25
7	25,7

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	20,1	P 02	L	19,9	P 03	L	20,2
	Leitura 01	47,8		Leitura 01	47,2		Leitura 01	46,3
	Leitura 02	47,8		Leitura 02	47,2		Leitura 02	46,1
		47,80			47,20			46,20
		4205,0			4216,1			4372,3
P 04	L	20,1	P 05	L	19,4			
	Leitura 01	48,6		Leitura 01	47,2			
	Leitura 02	48,8		Leitura 02	47,3			
		48,70			47,25			
7		4127,3			4105,8			4205

Pilar 02 (20x100) – ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	29
Leitura 02	31
Leitura 03	32
Leitura 04	30
Leitura 05	30
Leitura 06	29
Leitura 07	32
Leitura 08	29
Leitura 09	29
Leitura 10	
Leitura 11	28
Leitura 12	28
Leitura 13	
Leitura 14	28
Leitura 15	
Leitura 16	28
7	29,5

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	19,6	P 02	L	19,3	P 03	L	19,6
	Leitura 01	44,0		Leitura 01	45,2		Leitura 01	46,2
	Leitura 02	44,1		Leitura 02	45,1		Leitura 02	46,1
		44,05			45,15			46,15
		4449,5			4274,6			4247,0
P 04	L	19,6	P 05	L	19,6			
	Leitura 01	45,1		Leitura 01	46,6			
	Leitura 02	45,0		Leitura 02	46,7			
		45,05			46,65			
		4350,7			4201,5			4305

Cilindros – Esclerometria (IE)

CP 01	Leitura 01	20	CP 02	Leitura 01	19	CP 03	Leitura 01	
	Leitura 02	24		Leitura 02	21		Leitura 02	23
	Leitura 03	22		Leitura 03	22		Leitura 03	22
	Leitura 04	22		Leitura 04	22		Leitura 04	20
	Leitura 05	22		Leitura 05	22		Leitura 05	20
	Leitura 06	24		Leitura 06	22		Leitura 06	20
	Leitura 07	23		Leitura 07	22		Leitura 07	23
	Leitura 08	24		Leitura 08	21		Leitura 08	22
7		22,63			21,38			21,43
								21,8

Cilindros - ULTRA-SOM (m/s)

CP 01	L	19,85	CP 02	L	19,85	CP 03	L	20
	Leitura 01	46,4		Leitura 01	46,1		Leitura 01	46,7
	Leitura 02	45,9		Leitura 02	46		Leitura 02	46,6
		46,15			46,05			46,65
7		4301,2			4310,5			4287,2
								4300

COMPRESSÃO (MPa)

Cilindro 01	143,2
Cilindro 02	134,2
Cilindro 03	122,2
7	133,2
	17,0

Obra 02 - 30 MPa - 14 Dias (31/10/05) - Slump 12,0cm**Pilar 01 (20x100) - ESCLEROMETRIA (IE)**

Leitura 01	28
Leitura 02	30
Leitura 03	30
Leitura 04	30
Leitura 05	31
Leitura 06	30
Leitura 07	30
Leitura 08	32
Leitura 09	32
Leitura 10	32
Leitura 11	30
Leitura 12	32
Leitura 13	30
Leitura 14	30
Leitura 15	30
Leitura 16	28
14	30,3

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	20,1	P 02	L	19,9	P 03	L	20,2
	Leitura 01	46,5		Leitura 01	46,6		Leitura 01	47,3

	Leitura 02	46,7		Leitura 02	46,4		Leitura 02	47,1
		46,60			46,50			47,20
		4313,3			4279,6			4279,7

P 04	L	20,1	P 05	L	19,4	
	Leitura 01	46,3		Leitura 01	45,3	
	Leitura 02	46,6		Leitura 02	45,3	
		46,45			45,30	
14		4327,2			4282,6	4296

Pilar 02 (20x100) - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	30
Leitura 02	31
Leitura 03	31
Leitura 04	30
Leitura 05	30
Leitura 06	30
Leitura 07	32
Leitura 08	
Leitura 09	32
Leitura 10	31
Leitura 11	32
Leitura 12	32
Leitura 13	30
Leitura 14	29
Leitura 15	32
Leitura 16	30
14	30,8

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	19,6	P 02	L	19,3	P 03	L	19,6
	Leitura 01	42,9		Leitura 01	45,2		Leitura 01	44,6
	Leitura 02	43,2		Leitura 02	44,7		Leitura 02	44,8
		43,05			44,95			44,70
		4552,8			4293,7			4384,8
P 04	L	19,6	P 05	L	19,6			
	Leitura 01	44,2		Leitura 01	45,4			
	Leitura 02	44,3		Leitura 02	45,2			
		44,25			45,30			
14		4429,4			4326,7	4397		

Obra 02 - 30 MPa - 21 Dias (07/11/05) - Slump 12,0cm

Pilar 01 (20x100) - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	29
Leitura 02	30
Leitura 03	32
Leitura 04	30
Leitura 05	35
Leitura 06	36
Leitura 07	
Leitura 08	29
Leitura 09	31
Leitura 10	31
Leitura 11	32
Leitura 12	32
Leitura 13	30
Leitura 14	30
Leitura 15	32
Leitura 16	30
21	31,3

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	20,1	P 02	L	19,9	P 03	L	20,2
	Leitura 01	46,7		Leitura 01	46,4		Leitura 01	47,4
	Leitura 02	46,6		Leitura 02	46,3		Leitura 02	47,2
		46,65			46,35			47,30
		4308,682			4293,42			4270,613
P 04	L	20,1	P 05	L	19,4			
	Leitura 01	46,5		Leitura 01	45,6			
	Leitura 02	46,6		Leitura 02	45,9			
		46,55			45,75			
		4317,938			4240,437			
21						4286		

Pilar 02 (20x100) - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	30
Leitura 02	32
Leitura 03	32
Leitura 04	33
Leitura 05	30
Leitura 06	30

Leitura 07	31
Leitura 08	30
Leitura 09	33
Leitura 10	31
Leitura 11	31
Leitura 12	32
Leitura 13	32
Leitura 14	30
Leitura 15	30
Leitura 16	32
21	31,2

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	19,6	P 02	L	19,3	P 03	L	19,6
	Leitura 01	42,7		Leitura 01	44,1		Leitura 01	44,8
	Leitura 02	42,9		Leitura 02	44,3		Leitura 02	44,9
		42,80			44,20			44,85
		4579,439			4366,516			4370,123
P 04	L	19,6	P 05	L	19,6			
	Leitura 01	44,1		Leitura 01	45,6			
	Leitura 02	44,2		Leitura 02	45,6			
		44,15			45,60			
21		4439,411			4298,246	4411		

Obra 02 - 30 MPa - 28 Dias (14/11/05) - Slump 12,0cm

Pilar 01 (20x100) - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	29
Leitura 02	30
Leitura 03	36
Leitura 04	
Leitura 05	30
Leitura 06	30
Leitura 07	34
Leitura 08	32
Leitura 09	35
Leitura 10	
Leitura 11	35
Leitura 12	30
Leitura 13	31
Leitura 14	32
Leitura 15	
Leitura 16	31
28	31,9

Pilar 01 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	20,1	P 02	L	19,9	P 03	L	20,2
	Leitura 01	45,5		Leitura 01	45,8		Leitura 01	46,6
	Leitura 02	45,4		Leitura 02	46,0		Leitura 02	46,6
		45,45			45,90			46,60
		4422,4			4335,5			4334,8
P 04	L	20,1	P 05	L	19,4			
	Leitura 01	45,5		Leitura 01	45,6			
	Leitura 02	45,6		Leitura 02	45,2			
		45,55			45,40			
28		4412,7			4273,1			4356

Pilar 02 (20x100) - ESCLEROMETRIA (IE)

Leitura 01	33
Leitura 02	35
Leitura 03	37
Leitura 04	36
Leitura 05	32
Leitura 06	36
Leitura 07	37
Leitura 08	32
Leitura 09	
Leitura 10	
Leitura 11	35
Leitura 12	31
Leitura 13	35
Leitura 14	
Leitura 15	35
Leitura 16	33
28	34,4

Pilar 02 - ULTRA-SOM (m/s)

P 01	L	19,6	P 02	L	19,3	P 03	L	19,6
	Leitura 01	42,1		Leitura 01	43,8		Leitura 01	45,6
	Leitura 02	42,5		Leitura 02	44,4		Leitura 02	45,7
		42,30			44,10			45,65
		4633,6			4376,4			4293,5
P 04	L	19,6	P 05	L	19,6			
	Leitura 01	43,5		Leitura 01	44,8			
	Leitura 02	43,3		Leitura 02	45,0			
		43,40			44,90			
28		4516,1			4365,3			4437

Cilindros – Ultra-som - Obra (m/s)

CP 01	L	20,2	CP 02	L	21,1	CP 03	L	20,2
	Leitura 01	45,1		Leitura 01	45,3		Leitura 01	45,6
	Leitura 02	45,3		Leitura 02	45,3		Leitura 02	45,4
		45,20			45,30			45,50
28		4469,0			4657,8			4439,6
								4522

COMPRESSÃO - Obra (MPa)

Cilindro 01	24,51
Cilindro 02	26,91
Cilindro 03	23,38
28	24,9
	31,7

Cilind. – Ultra-som – Concret. (m/s)

CP 01	L	19,8	CP 02	L	20
	Leitura 01	42,4		Leitura 01	43,3
	Leitura 02	42,3		Leitura 02	43,5
		42,35			43,40
28		4675,3			4608,3
					4642

COMPRESSÃO - Concreteira (MPa)

Cilindro 01	26,33
Cilindro 02	24,31
28	25,32
	32,2

APÊNDICE C

Intervalos de Confiança – Ultra-som e Esclerometria

Ultra-som - 30MPa com Cura ao Ar

	V	fc	x2						
1	3618	8,3		13091240					
	3607	8,3		13012258					
3	4023	21,3		16184437					
	4009	21,3		16075561					
7	4095	25,2		16768828					
	4132	25,2		17072965					
14	4223	31,4		17832488					
	4235	31,4		17934170					
28	4287	33,0		18376170					
	4277	33,0		18296991					
90	4394	42,9		19310637					
	4369	42,9		19084453					
Soma	49270			203040197					
Media	4105,81								
Sxx	748183,8998								
n	12								
			1	3	7	14	28	90	
	y médio esp=	3681,797623	3976,213	4065,634	4204,476	4241,495	4465,239		
	y médio sup=	4076,629764	4368,5539	4457,22	4594,891	4631,598	4853,459		
a	3493,726	y médio inf=	3286,965482	3583,8721	3674,048	3814,061	3851,392	4077,018	
b	<u>22,65513</u>								
Se	15,92874								
Xo	8,3	21,3	25,2	31,4	33,0	42,9			
t	2,201								
n	12								
	y ind esp=	3681,797623	3976,213	3493,726	4204,476	4241,495	4465,239		
	y ind sup=	4094,159346	4386,0835	4474,749	4612,421	4649,127	4870,989		
	y ind inf=	3269,4359	3566,3426	3656,518	3796,532	3833,862	4059,489		

Variável X 1 22,6551266 1,636949762 13,83984232 7,55891E-08 19,00777525 26,30247795 19,00777525 26,30247795

Resumo dos Resultados

Estatística de regressão

R múltiplo	0,974875562
R-Quadrado	0,950382362
R-quadrado ajustado	0,945420599
Erro padrão	15,92874334
Observações	12

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F significação
Regressão	1	711060,7822	711060,7822	191,5412355	7,55891E-08
Resíduo	10	37123,11765	3712,311765		
Total	11	748183,8998			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	3493,725595	47,59532289	73,40480918	5,37235E-15	3387,676607	3599,774582	3387,676607	3599,774582

Esclerometria - 30MPa com Cura ao Ar

		IE	fc	x2						
1		16,86	8,3	284						
		16,20	8,3	262						
		18,31	8,3	335						
3		22,42	21,3	503						
		20,88	21,3	436						
		23,10	21,3	534						
7		24,80	25,2	615						
		26,08	25,2	680						
		25,06	25,2	628						
14		27,20	31,4	740						
		27,58	31,4	761						
		24,17	31,4	584						
28		28,56	33,0	816						
		32,63	33,0	1065						
		31,14	33,0	970						
90		32,83	42,9	1078						
		30,43	42,9	926						
		33,57	42,9	1127						
Soma	462		12343							
Media	26									
Sxx	-5430,2221									
n	18									
		1	3	7	14	28	90			
	y médio esp=	17,03657	23,021996	24,83991	27,66256	28,41514	32,96383			
	y médio sup=	17,03674	23,12326	24,94792	27,75893	28,50386	32,9656			
a	13,21309	y médio inf=	17,0364	22,920732	24,7319	27,56619	28,32642	32,96206		
b	<u>0,460576</u>									
Se	1,825727									
Xo	8,3	21,3	25,2	31,4	33,0	42,9				
t	2,131									
n	18									
	y ind esp=	17,03657	23,021996	13,21309	27,66256	28,41514	32,96383			
	y ind sup=	18,98205	25,068572	26,89323	29,70424	30,44917	34,91091			
	y ind inf=	15,09108	20,97542	22,78658	25,62088	26,38111	31,01675			

Resumo dos Resultados

Estatística de regressão

R múltiplo	0,944496812
R-Quadrado	0,892074227
R-quadrado ajustado	0,885328866
Erro padrão	1,825727087
Observações	18

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	440,8263296	440,8263296	132,2500388	3,80209E-09			
Resíduo	16	53,33247036	3,333279397					
Total	17	494,1588						

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	13,2130853	1,164480676	11,34676219	4,60909E-09	10,74449656	15,68167404	10,74449656	15,68167404
Variável X 1	0,460575958	0,040050077	11,50000169	3,80209E-09	0,375673587	0,545478329	0,375673587	0,545478329

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.