

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**“CHAPA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF) FABRICADA COM
POLIURETANA MONO-COMPONENTE DERIVADA DE ÓLEO
DE MAMONA – CARACTERIZAÇÃO POR MÉTODO
DESTRUTIVO E POR ULTRA-SOM”**

SÉRGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2003

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**“CHAPA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF) FABRICADA COM
POLIURETANA MONOCOMPONENTE DERIVADA DE ÓLEO
DE MAMONA – CARACTERIZAÇÃO POR MÉTODO
DESTRUTIVO E POR ULTRA-SOM”.**

Tese de Doutorado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola, na área
de concentração em Construções Rurais

SÉRGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a RAQUEL GONÇALVES

**CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2003**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si38c Silva, Sérgio Augusto Mello da
Chapa de média densidade (MDF) fabricada com
poliuretana mono-componente derivada de óleo de
mamona – caracterização por método destrutivo e ultra-
som / Sérgio Augusto Mello da Silva.--Campinas, SP:
[s.n.], 2003.

Orientador: Raquel Gonçalves.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Fibras. 2. Poliuretanas. 3. Testes não-destrutivos.
4. Madeira – Produtos. 5. Compostos fibrosos. 6.
Materiais compósitos. I. Gonçalves, Raquel. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Titulo em Inglês: Medium density fiberboard manufactured with polyurethane
derived from castor oil – characterization of destructive and
nondestructive testing

Palavras-chave em Inglês: Fibers, Polyurethanes, non-destructive testing,
Wood products, Fibrous composites e Composite
materials.

Área de concentração: Construções Rurais

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: André Bartholomeu, Francisco Antônio Rocco Lahr,
Hernando Alfonso Lara Palma e Wagner Luiz Polito

Data da defesa: 05/11/2003

- “Um problema da nossa sociedade atual é que temos uma atitude diante da educação como se ela existisse apenas para tornar as pessoas mais inteligentes, para torná-las mais criativas. Às vezes chega mesmo a parecer que aqueles que não receberam grande instrução, aqueles que são menos sofisticados em termos de formação acadêmica, são mais inocentes e honestos. Muito embora nossa sociedade não dê ênfase a esse aspecto, a aplicação mais valiosa do conhecimento e da instrução é a de nos ajudar a entender a importância da educação a atos mais salutares e da implantação da disciplina na nossa mente. A utilização correta da nossa inteligência e conhecimento consiste em provocar mudanças de dentro para fora, para desenvolver um bom coração”.

(Dalai Lama, A Arte da Felicidade, 2002)

Agradecimentos

À Prof.^a Dr.^a Raquel Gonçalves, pelo incentivo e apoio para o desenvolvimento deste trabalho, sem o qual, certamente não conseguiríamos delinear os objetivos e atingir as metas.

Ao Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr por momentos de reflexão sobre o desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários do Laboratório da FEAGRI pelo apoio na utilização do equipamento de ultra-som.

Aos professores e funcionários do LaMEM por disponibilizarem as dependências do laboratório.

Ao Prof. Dr. Wagner Polito pelo fornecimento da poliuretana monocomponente derivado do óleo de mamona e pelo apoio técnico necessário para utilização do referido adesivo.

Ao Departamento de Engenharia Civil / FEIS – UNESP pela ajuda material na confecção dos exemplares de defesa.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo, com a qual foi possível a realização e o desenvolvimento da pesquisa.

À FAPESP pelo apoio financeiro que viabilizou as viagens aos laboratórios da DURATEX onde foram confeccionadas as chapas de fibras e realizados os ensaios para caracterização das chapas.

À DURATEX pelo fornecimento de material, confecção das chapas de fibra e realização dos ensaios para caracterização física e mecânica das chapas.

À minha esposa Rosângela e filhos Tereza Carolina, Ana Paula e Juninho, por compreenderem, me apoiarem e motivarem nos momentos difíceis, tornando possível esse trabalho.

Aos meus queridos pais, Augusto e Tereza, que apesar da distância ainda são os principais responsáveis pelo meu desejo de continuar lutando sempre.

Ao grande arquiteto do universo por me propiciar momentos de inspiração e suplantando as dificuldades.

SUMÁRIO	Paginas
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE TABELAS DO ANEXO	xvi
LISTA DE SIMBOLOS	xxiii
LISTA DE ABREVEATURAS	xxiii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxii
1 – INTRODUÇÃO	01
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1 - Breve histórico sobre chapas de fibra.	
2.2 - Aspectos sobre as chapas MDF.	07
2.3 - Breve histórico sobre Poliuretanas (PU).	15
2.3.1 - Isocianatos.	18
2.3.2 - Sistemas ligantes.	21
2.3.3 - Poliuretana mono-componente.	23
2.3.4 - Sistemas PU's com cura pela umidade do ar.	
2.4 - Poliuretana (PU) mono-componente derivado de óleo de mamona.	24
2.5 - Aspectos sobre a utilização de ultra-som.	27
2.5.1 - Determinação de constantes elásticas	
2.5.2 - Fatores que afetam as ondas ultra-sônicas	29
3 - MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 - Procedimentos e equipamentos para confecção das chapas MDF	
3.2 - Definição do teor de poliuretana (PU).	37
3.3 - Preparação das chapas MDF	38
3.3.1 - Aplicação de PU às fibras	
3.3.2 - Formação do colchão de fibras	39
3.3.3 - Pré-prensagem e ciclo de prensagem	
3.4 - Ensaios destrutivos	46

3.4.1 - Parâmetros para caracterização das chapas	47
3.4.2 - Módulo de resistência à flexão estática	48
3.4.3 - Módulo de resistência à perpendicular	
3.4.4 - Módulo de resistência à superficial	
3.4.5 - Inchamento após 24 horaS	49
3.4.6 - Perfil de densidade	
3.5 - Ensaios não-destrutivos	50
3.6 - Análise estatística	54
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 - Ensaios destrutivos da fase I	
4.2 - Ensaios destrutivos da fase II	59
4.3 - Ensaios não-destrutivos da fase II	65
4.4 - Correlações entre ensaios não-destrutivos e destrutivos da fase II	75
4.5 - Ensaios destrutivos da fase III	111
4.6 - Ensaios não-destrutivos da fase III	117
4.7 - Correlações entre ensaios não-destrutivos e destrutivos da fase III	123
4.8 - Análise estatística da fase III	166
4.8.1 - Módulo de resistência à flexão estática	
4.8.2 - Módulo de resistência à tração perpendicular	172
4.8.3 - Módulo de resistência à tração superficial	180
4.9 - Análise estatística dos modelos de regressão da fase III	186
5 - CONCLUSÕES	192
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
ANEXO I	199
ANEXO II	202
ANEXO III	203
ANEXO IV	215
ANEXO V	219

LISTA DE FIGURAS		Páginas
Figura 2.1	- Produção mundial de MDF em 2000. Fonte: FAO.	12
Figura 2.2	- Evolução da produção e consumo de MDF no Brasil, entre 1997 e 2001. Fonte: Abipa	14
Figura 2.3	- Consumo de PU por segmento na América Latina em 2001. Fonte: VILAR (2002)	16
Figura 2.4	- Ligação covalente entre isocianato e poliamida. Fonte: VILAR (2002)	18
Figura 2.5	- Estruturas de ressonância do grupamento isocianato. Fonte: VILAR (2002)	
Figura 2.6	- Reação do grupamento isocianato com água. Fonte: VILAR (2002)	21
Figura 2.7	- Sistema PU com cura pela umidade do ar. Fonte: VILAR (2002)	24
Figura 2.8	- Estrutura do óleo de mamona e seus sítios ativos de transformação. Fonte: VILAR (2002)	27
Figura 3.1	- Fotografia das fibras de <i>Pinus caribaea</i> utilizadas na confecção das chapas	31
Figura 3.2	- Fotografia das fibras de <i>Eucalyptus grandis</i> utilizadas na confecção das chapas	
Figura 3.3	- Fotografia microscópica das fibras de <i>Pinus caribaea</i> utilizadas na confecção das chapas	32
Figura 3.4	- Fotografia microscópica da superfície da chapa de fibra.	33
Figura 3.5	- Fotografia microscópica de um corte na espessura da chapa de fibra.	
Figura 3.6	- Aspectos gerais da poliuretana mono-componente derivada do óleo de mamona utilizado na confecção das chapas.	
Figura 3.7	- Medidor de umidade das fibras	34
Figura 3.8	- Encoladeira de tambor	
Figura 3.9	- Formadora de colchão	
Figura 3.10	- Pré-prensa	35
Figura 3.11	- Aspectos gerais da prensa para confecção das chapas com controle de temperatura e pressão	
Figura 3.12	- Equipamento para medir os corpos-de-prova	36
Figura 3.13	- Equipamento de ensaios mecânicos: flexão estática, tração perpendicular e tração superficial.	
Figura 3.14	- Equipamento para determinação do Perfil de densidade das chapas.	37
Figura 3.15	- Equipamento de ultra-som (a) e transdutores de faces exponenciais e planas (b)	
Figura 3.16	- <i>Ciclo de prensagem da CE1</i> Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	41
Figura 3.17	- <i>Ciclo de prensagem da CE2</i> Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	
Figura 3.18	- <i>Ciclo de prensagem da CE3</i> Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	42
Figura 3.19	- <i>Ciclo de prensagem da CE4</i> Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	

Figura 3.20	- Ciclo de prensagem da CE5 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	43
Figura 3.21	- Ciclo de prensagem da CE6 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	
Figura 3.22	- Ciclo de prensagem da CE7 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	44
Figura 3.23	- Ciclo de prensagem da CE8 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	
Figura 3.24	- Ciclo de prensagem da CE1 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	45
Figura 3.25	- Ciclo de prensagem da CE3 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	
Figura 3.26	- Ciclo de prensagem CE4 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	46
Figura 3.27	- Ciclo de prensagem CE6 Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX	
Figura 3.28	- Fotografias ilustrando a seqüência para extração e confecção de corpos-de-prova para realização de ensaios físicos e mecânicos. (a) Chapa de fibra preparada para extração dos corpos-de-prova. (b) Corpos-de-prova para ensaios de resistência à flexão estática. (c) Corpo-de-prova para ensaios de resistência à tração perpendicular às fibras, tração superficial, perfil de densidade e inchamento após 24 horas.	47
Figura 3.29	- Fotografia do ensaio para determinação do MOR	
Figura 3.30	- Fotografia do ensaio para determinação do módulo de resistência à tração perpendicular.	49
Figura 3.31	- Fotografia do ensaio para determinação do módulo de resistência à tração superficial	50
Figura 3.32	- Fotografia do equipamento para determinação da densidade evidenciando a curva do perfil de densidade no momento da realização do ensaio	51
Figura 3.33	- Chapas MDF com fibras de Pinus caribaea (a) e Eucalyptus grandis (b)	
Figura 3.34	- Fotografia das chapas MDF com as direções e os sentidos de leitura para os ensaios não destrutivos	52
Figura 3.35	- Fotografia da chapa MDF com as direções e regiões para realização de ensaio não-destrutivo.	
Figura 3.36	- Fotografia do ensaio de ultra-som com transdutores de faces exponenciais aplicados na direção y da chapa (a) e desenho esquemático da provável trajetória de propagação da onda ultra-sônica de compressão (b)	53
Figura 3.37	- Fotografia do ensaio não-destrutivo com transdutores de superfícies planas aplicadas na direção x da chapa (a) e o desenho esquemático da provável trajetória de propagação da onda ultra-sônica de superfície (b)	

Figura 3.38	- Fotografia do ensaio não-destrutivo com transdutores de superfícies planas aplicadas na direção z da chapa da chapa (a) e o desenho esquemático da provável trajetória de propagação das ondas de compressão (b)	54
Figura 4.1	- Valores médios de MOR obtidos em três cp com 5% de PU3070	
Figura 4.2	- Valores médios de MOE obtidos em três cp com 5% de PU3070	58
Figura 4.3	- Valores médios de TP obtidos em seis cp com 5 e 10% de PU3070	
Figura 4.4	- Valores médios de TS obtidos em seis cp com 5% de PU3070	59
Figura 4.5	- Valores médios de MOR obtidos em vinte e um (21) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.	60
Figura 4.6	- Valores médios de MOE obtidos em vinte e um (21) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.	
Figura 4.7	- Valores médios de TP obtidos em nove (9) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7	61
Figura 4.8	- Valores médios de TS obtidos em nove (9) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7	
Figura 4.9	- Percentual de Inchamento obtidos em nove (9) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7	62
Figura 4.10	- Perfil de densidade das chapas da C 3.	
Figura 4.11	- Perfil de densidade das chapas da C 5.	63
Figura 4.12	- Perfil de densidade das chapas da C 6.	
Figura 4.13	- Perfil de densidade das chapas da C 7.	64
Figura 4.14	- VVOC das chapas da CE1.	
Figura 4.15	- VVOS das chapas da CE1.	67
Figura 4.16	- VVOC' das chapas da CE1.	
Figura 4.17	- VVOC das chapas da CE2.	
Figura 4.18	- VVOS das chapas da CE2.	68
Figura 4.19	- VVOC' das chapas da CE2.	
Figura 4.20	- VVOC das chapas da CE3.	
Figura 4.21	- VVOS das chapas da CE3.	69
Figura 4.22	- VVOC' das chapas da CE3.	
Figura 4.23	- VVOC das chapas da CE4.	
Figura 4.24	- VVOS das chapas da CE4.	70
Figura 4.25	- VVOC' das chapas da CE4.	
Figura 4.26	- VVOC das chapas da CE5.	
Figura 4.27	- VVOS das chapas da CE5.	71
Figura 4.28	- VVOC' das chapas da CE5.	
Figura 4.29	- VVOC das chapas da CE6.	
Figura 4.30	- VVOS das chapas da CE6.	72
Figura 4.31	- VVOC' das chapas da CE6.	
Figura 4.32	- VVOC das chapas da CE7.	
Figura 4.33	- VVOS das chapas da CE7.	73
Figura 4.34	- VVOC' das chapas da CE7.	
Figura 4.35	- VVOC das chapas da CE8.	
Figura 4.36	- VVOS das chapas da CE8.	74
Figura 4.37	- VVOC' das chapas da CE8.	

Figura 4.38	- R^2 entre VOC e D das chapas da CE3.	
Figura 4.39	- R^2 entre VOS e D das chapas da CE3.	77
Figura 4.40	- R^2 entre VOC' e D das chapas da CE3.	
Figura 4.41	- R^2 entre VOC e D das chapas da CE5.	
Figura 4.42	- R^2 entre VOS e D das chapas da CE5.	78
Figura 4.43	- R^2 entre VOC' e D das chapas da CE5.	
Figura 4.44	- R^2 entre VOC e D das chapas da CE6.	
Figura 4.45	- R^2 entre VOS e D das chapas da CE6.	79
Figura 4.46	- R^2 entre VOC' e D das chapas da CE6.	
Figura 4.47	- R^2 entre VOC e D das chapas da CE7.	
Figura 4.48	- R^2 entre VOS e D das chapas da CE7.	80
Figura 4.49	- R^2 entre VOC' e D das chapas da CE7.	
Figura 4.50	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE3.	
Figura 4.51	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE3.	81
Figura 4.52	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE3.	
Figura 4.53	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE5.	
Figura 4.54	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE5.	82
Figura 4.55	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE5.	
Figura 4.56	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE6.	
Figura 4.57	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE6.	83
Figura 4.58	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE6.	
Figura 4.59	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE7.	
Figura 4.60	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE7.	84
Figura 4.61	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE7.	
Figura 4.62	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE3.	
Figura 4.63	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da C 3.	85
Figura 4.64	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da C 3.	
Figura 4.65	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da C 5.	
Figura 4.66	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da C 5.	86
Figura 4.67	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da C 5.	
Figura 4.68	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da C 6.	
Figura 4.69	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da C 6.	87
Figura 4.70	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da C 6.	
Figura 4.71	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da C 7.	
Figura 4.72	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da C 7.	88
Figura 4.73	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da C 7.	
Figura 4.74	- R^2 entre VOC e TP das chapas da C 3.	
Figura 4.75	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE3.	89
Figura 4.76	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE3.	
Figura 4.77	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE5.	
Figura 4.78	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE5.	90
Figura 4.79	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE5.	
Figura 4.80	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE6.	
Figura 4.81	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE6.	91
Figura 4.82	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE6.	

Figura 4.83	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE7.	
Figura 4.84	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE7.	92
Figura 4.85	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE7.	
Figura 4.86	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE3.	
Figura 4.87	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE3.	94
Figura 4.88	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE3.	
Figura 4.89	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE5.	
Figura 4.90	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE5.	95
Figura 4.91	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE5.	
Figura 4.92	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE6.	
Figura 4.93	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE6.	96
Figura 4.94	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE6.	
Figura 4.95	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE7.	
Figura 4.96	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE7.	97
Figura 4.97	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE7.	
Figura 4.98	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE1.	
Figura 4.99	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE1.	98
Figura 4.100	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE1.	
Figura 4.101	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE2.	
Figura 4.102	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE2.	99
Figura 4.103	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE2.	
Figura 4.104	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE3.	
Figura 4.105	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE3.	100
Figura 4.106	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE3.	
Figura 4.107	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE4.	
Figura 4.108	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE4.	101
Figura 4.109	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE4.	
Figura 4.110	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE5.	
Figura 4.111	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE5.	102
Figura 4.112	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE5.	
Figura 4.113	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE6.	
Figura 4.114	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE6.	103
Figura 4.115	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE6.	
Figura 4.116	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE7.	
Figura 4.117	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE7.	104
Figura 4.118	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE7.	
Figura 4.119	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE8.	
Figura 4.120	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE8.	105
Figura 4.121	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE8.	
Figura 4.122	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE3.	
Figura 4.123	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE3.	106
Figura 4.124	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE3.	
Figura 4.125	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE5.	
Figura 4.126	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE5.	107
Figura 4.127	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE5.	
Figura 4.128	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE6.	108

Figura 4.129	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE6.	
Figura 4.130	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE6.	
Figura 4.131	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE7.	
Figura 4.132	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE7.	109
Figura 4.133	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE7.	
Figura 4.134	- MOR das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII.	112
Figura 4.135	- MOE das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII	
Figura 4.136	- TP das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII	113
Figura 4.137	- TS das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII	
Figura 4.138	- Inchamento após 24 horas das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII	114
Figura 4.139	- Perfil de densidade - CE1	115
Figura 4.140	- Perfil de densidade - CE3	
Figura 4.141	- Perfil de densidade - CE4	116
Figura 4.142	- Perfil de densidade - CE6	
Figura 4.143	- Variação da densidade das chapas da CE1	
Figura 4.144	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.	119
Figura 4.145	- Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.	
Figura 4.146	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.	
Figura 4.147	- Variação da densidade das chapas da CE3	
Figura 4.148	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.	120
Figura 4.149	- Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.	
Figura 4.150	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.	
Figura 4.151	- Variação da densidade das chapas da CE4	
Figura 4.152	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.	121
Figura 4.153	- Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.	
Figura 4.154	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.	
Figura 4.155	- Variação da densidade das chapas da CE6	
Figura 4.156	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.	122
Figura 4.157	- Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.	
Figura 4.158	- Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.	
Figura 4.159	- R^2 entre VOC e δ das chapas da CE1.	
Figura 4.160	- R^2 entre VOS e δ das chapas da CE1.	125
Figura 4.161	- R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE1.	
Figura 4.162	- R^2 entre VOC e δ das chapas da CE3.	
Figura 4.163	- R^2 entre VOS e δ das chapas da CE3	126
Figura 4.164	- R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE3	
Figura 4.165	- R^2 entre VOC e δ das chapas da CE4	
Figura 4.166	- R^2 entre VOS e δ das chapas da CE4	127
Figura 4.167	- R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE4	
Figura 4.168	- R^2 entre VOC e δ das chapas da CE6	
Figura 4.169	- R^2 entre VOS e δ das chapas da CE6	128
Figura 4.170	- R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE6	
Figura 4.171	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE1	
Figura 4.172	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE1	129
Figura 4.173	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE1	
Figura 4.174	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE3	130

Figura 4.175	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE3	
Figura 4.176	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE3	
Figura 4.177	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE4	
Figura 4.178	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE4	131
Figura 4.179	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE4	
Figura 4.180	- R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE6	
Figura 4.181	- R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE6	132
Figura 4.182	- R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE6	
Figura 4.183	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE1	
Figura 4.184	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE1	133
Figura 4.185	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE3	
Figura 4.186	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE3	
Figura 4.187	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE3	134
Figura 4.188	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE3	
Figura 4.189	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE4	
Figura 4.190	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE4	135
Figura 4.191	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE4	
Figura 4.192	- R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE6	
Figura 4.193	- R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE6	136
Figura 4.194	- R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE6	
Figura 4.195	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE1	
Figura 4.196	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE1	137
Figura 4.197	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE1	
Figura 4.198	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE3	
Figura 4.199	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE3	138
Figura 4.200	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE3	
Figura 4.201	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE4	
Figura 4.202	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE4	139
Figura 4.203	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE4	
Figura 4.204	- R^2 entre VOC e TP das chapas da CE6	
Figura 4.205	- R^2 entre VOS e TP das chapas da CE6	140
Figura 4.206	- R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE6	
Figura 4.207	- R^2 entre VOC e TS das chapas da CE1	
Figura 4.208	- R^2 entre VOS e TS das chapas da CE1	141
Figura 4.209	- R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE1	
Figura 4.210	- R^2 entre VOC e TS das chapas da CE3	
Figura 4.211	- R^2 entre VOS e TS das chapas da CE3	142
Figura 4.212	- R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE3	
Figura 4.213	- R^2 entre VOC e TS das chapas da CE4	
Figura 4.214	- R^2 entre VOS e TS das chapas da CE4	143
Figura 4.215	- R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE4	
Figura 4.216	- R^2 entre VOC e TS das chapas da CE6	
Figura 4.217	- R^2 entre VOS e TS das chapas da CE6	144
Figura 4.218	- R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE6	

Figura 4.219	- R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE1	
Figura 4.220	- R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE1	146
Figura 4.221	- R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE1	
Figura 4.222	- R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE3	
Figura 4.223	- R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE3	147
Figura 4.224	- R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE3	
Figura 4.225	- R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE4	
Figura 4.226	- R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE4	148
Figura 4.227	- R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE4	
Figura 4.228	- R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE6	
Figura 4.229	- R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE6	149
Figura 4.230	- R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE6	
Figura 4.231	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE1	
Figura 4.232	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE1	150
Figura 4.233	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE1	
Figura 4.234	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE3	
Figura 4.235	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE3	151
Figura 4.236	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE3	
Figura 4.237	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE4	
Figura 4.238	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE4	152
Figura 4.239	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE4	
Figura 4.240	- R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE6	
Figura 4.241	- R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE6	153
Figura 4.242	- R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE6	
Figura 4.243	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE1	
Figura 4.244	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE1	154
Figura 4.245	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE1	
Figura 4.246	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE3	
Figura 4.247	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE3	155
Figura 4.248	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE3	
Figura 4.249	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE4	
Figura 4.250	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE4	156
Figura 4.251	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE4	
Figura 4.252	- R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE6	
Figura 4.253	- R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE6	157
Figura 4.254	- R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE6	
Figura 4.255	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE1	
Figura 4.256	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE1	158
Figura 4.257	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE1	
Figura 4.258	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE3	
Figura 4.259	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE3	159
Figura 4.260	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE3	
Figura 4.261	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE4	
Figura 4.262	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE4	160
Figura 4.263	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE4	

Figura 4.264	- R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE6	
Figura 4.265	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE6	161
Figura 4.266	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE6	
Figura 4.267	- R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE1	
Figura 4.268	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE1	162
Figura 4.269	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE1	
Figura 4.270	- R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE3	
Figura 4.271	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE3	163
Figura 4.272	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE3	
Figura 4.273	- R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE4	
Figura 4.274	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE4	164
Figura 4.275	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE4	
Figura 4.276	- R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE6	
Figura 4.277	- R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE6	165
Figura 4.278	- R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE6	
Figura 4.279	- R x VE - MOR	168
Figura 4.280	- R x EN - MOR	169
Figura 4.281	- R x VE - MOR	171
Figura 4.282	- R x EN - MOR	172
Figura 4.283	- R x VE - Módulo de resistência à tração perpendicular	175
Figura 4.284	- R x EN - Módulo de resistência à tração perpendicular	
Figura 4.285	- R x VE - Módulo de resistência à tração perpendicular - chapa de eucalipto	179
Figura 4.286	- R x EN - Módulo de resistência à tração perpendicular	180
Figura 4.287	- R x VE - Módulo de resistência à tração superficial	182
Figura 4.288	- R x EN - Módulo de resistência à tração superficial	183
Figura 4.289	- R x VE - Módulo de resistência à tração superficial	185
Figura 4.290	- R x EN - Módulo de resistência à tração superficial	186

LISTA DE TABELAS	Páginas
Tabela 2.1 - Classificação de adesivos em função da temperatura de cura	8
Tabela 2.2 - Capacidade produtiva mundial de MDF entre 1980 a 1990 e 1992	10
Tabela 2.3 - Taxa média de expansão de consumo de MDF no mundo entre 1996 a 2000.	13
Tabela 2.4 - Produção e consumo nacionais de MDF no período de 1996 a 2001	14
Tabela 2.5 - Capacidade produtora de MDF das empresas brasileiras durante 2002	15
Tabela 2.6 - Grupos doadores que reagem com isocianatos.	20
Tabela 2.7 - Composição química do óleo de mamona.	26
Tabela 3.1 - Planejamento experimental para confecção das chapas	38
Tabela 3.2 - Propriedades das chapas MDF e métodos de ensaios.	48
Tabela 4.1 - Caracterização das chapas utilizando-se 5 e 10% de PU3070 - fase I.	57
Tabela 4.2 - Valores médios das propriedades das chapas da fase II.	60
Tabela 4.3 - Valores médios das CTE, MOE e MOR .	75
Tabela 4.4 - Coeficientes de determinação (R^2) entre as velocidades das ondas ultra-sônicas e as propriedades das chapas	93
Tabela 4.5 - Coeficientes de determinação (R^2) entre CTE e (MOR, TP).	110
Tabela 4.6 - Coeficientes de determinação (R^2) entre CTE e MOE das chapas.	114
Tabela 4.7 - Valores médios das propriedades das chapas de fibra.	123
Tabela 4.8 - Variação da δ e das VO	123
Tabela 4.9 - Valores das CTE, MOE e MOR .	145
Tabela 4.10 - Coeficientes de determinação (R^2) entre velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas e as propriedades das chapas	145
Tabela 4.11 - Coeficientes de determinação (R^2) entre CTE e as propriedades das chapas.	166
Tabela 4.12 - Modelo para análise estatística do MOR das chapas de Pinus caribaea .	167
Tabela 4.13 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do MOR .	169
Tabela 4.14 - Modelo para análise estatística do MOR das chapas de Eucalyptus grandis .	170
Tabela 4.15 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do MOR	172
Tabela 4.16 - Modelo para análise estatística do TP das chapas de Pinus caribaea	173
Tabela 4.17 - Modelo para análise estatística do TP das chapas de Pinus caribaea	174
Tabela 4.18 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do TP .	176
Tabela 4.19 - Modelo para análise estatística do TP das chapas de Eucalyptus grandis .	177
Tabela 4.20 - Modelo para análise estatística do TP das chapas de Eucalyptus grandis .	178
Tabela 4.21 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do TP .	180
Tabela 4.22 - Modelo para análise estatística TS das chapas de Pinus caribaea .	181
Tabela 4.23 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas dos TS	183
Tabela 4.24 - Modelo para análise estatística TS das chapas de. Eucalyptus grandis .	184
Tabela 4.25 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do TS .	186
Tabela 4.26 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOR das chapas da CE 3.	188
Tabela 4.27 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOR das chapas da CE 6.	188
Tabela 4.28 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOE das chapas da CE 3	189
Tabela 4.29 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOE das chapas da CE 6.	189
Tabela 4.30 - Análise de regressão entre a VOC' e o TP das chapas da CE 3.	190
Tabela 4.31 - Análise de regressão entre a VOC' e o TP das chapas da CE 6.	190
Tabela 4.32 - Análise de regressão entre a VOC' e o TS das chapas da CE 3.	190
Tabela 4.33 - Análise de regressão entre a VOC' e o TS das chapas da CE 6.	190

Tabela 4.34 - Análise de regressão entre a CTEOC , CTEOS e o MOR das chapas da CE 3.	191
Tabela 4.35 - Análise de regressão entre a CTEOC , CTEOS e o MOR das chapas da CE 6.	
Tabela 4.36 - Análise de regressão CTE) e módulo de elasticidade (MOE) das chapas da condição experimental 3.	
Tabela 4.37 - Análise do modelo de regressão entre a constante dinâmica (CTE) e módulo de elasticidade (MOE) das chapas da condição experimental 6.	192

LISTA DE TABELAS DO ANEXO	Páginas
Tabela A1.1 - Classificação das chapas MDF em função da densidade	
Tabela A1.2 - Classificação das chapas MDF em função das condições de uso	200
Tabela A1.3 - Aplicações das chapas MDF	
Tabela A1.4 - Acabamento superficial das chapas	
Tabela A1.5 - Propriedades e métodos de ensaios das chapas	
Tabela A1.6 - Propriedades e métodos de ensaios para MDF utilizados em ambientes internos sob condições de umidade	201
Tabela A1.7 - Propriedades e métodos de ensaios para MDF utilizados em ambientes internos sob condições secas de uso.	
Tabela A1.8 - Propriedades e métodos de ensaios para MDF utilizados em ambientes externos sujeitos a intempéries.	202
Tabela A2.1 - Isocianatos comerciais e suas características	203
Tabela A3.1 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidade de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção y).	204
Tabela A3.2 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção x).	205
Tabela A3.3 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidade de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção y).	206
Tabela A3.4 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidade de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção x).	207
Tabela A3.5 - Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 1.	208
Tabela A3.6 - Constante dinâmica (MPa) e velocidade de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 2.	209
Tabela A3.7 - Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 3.	210
Tabela A3.8 - Constante dinâmica e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 4.	211
Tabela A3.9 - Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 5.	212
Tabela A3.10 - Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 6.	213
Tabela A3.11 - Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 7.	214
Tabela A3.12 - Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z) - C 8.	215
Tabela A4.1 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção y).	216

Tabela A4.2	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção x).	
Tabela A4.3	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção y).	217
Tabela A4.4	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção x).	
Tabela A4.5	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).	218
Tabela A4.6	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).	
Tabela A4.7	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).	219
Tabela A4.8	- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).	
Tabela A5.1	- Análise estatística do MOR das chapas de <i>Pinus caribaea</i> com 8 e 15mm de espessura.	220
Tabela A5.2	- Análise estatística do MOR das chapas de <i>Eucalyptus grandis</i> com 8 e 15mm de espessura	221
Tabela A5.3	- Análise estatística do módulo de resistência à tração perpendicular das chapas de <i>Pinus caribaea</i> com 8 e 15mm de espessura.	222
Tabela A5.4	- Análise estatística do módulo de resistência à tração perpendicular das chapas de <i>Eucalyptus grandis</i> com 8 e 15 mm de espessura.	223
Tabela A5.5	- Análise estatística do módulo de resistência à tração superficial das chapas de <i>Pinus caribaea</i> com 8 e 15mm de espessura.	224
Tabela A5.6	- Análise estatística do módulo de resistência à tração superficial das chapas de <i>Eucalyptus grandis</i> com 8 e 15mm de espessura.	225
Tabela A5.7	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o MOR da condição 3.	226
Tabela A5.8	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o MOR da condição 6.	227
Tabela A5.9	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de elasticidade da condição 3.	228
Tabela A5.10	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de elasticidade da condição 6.	229
Tabela A5.11	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração perpendicular da condição 3.	230
Tabela A5.12	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração perpendicular da condição 6.	
Tabela A5.13	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração superficial da condição 3.	231

Tabela A5.14	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração superficial da condição 6.	
Tabela A5.15	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o MOR da condição 3.	232
Tabela A5.16	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o MOR da condição 6.	233
Tabela A5.17	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o módulo de elasticidade da condição 3.	234
Tabela A5.18	- Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o módulo de elasticidade da condição 3.	235

LISTA DE SIMBOLOS

δ	Densidade aparente do corpo-de-prova
λ	Comprimento da onda ultra-sônica
R^2	Coeficiente de determinação
x	Direção definida nas chapas de fibra para realização de ensaios não-destrutivos com transdutores de faces planas
y	Direção definida nas chapas de fibra para realização de ensaios não-destrutivos com transdutores de faces exponenciais
z	Direção definida na chapas de fibra para realização de ensaios não-destrutivos com transdutores de faces planas
$\bar{X}$	Média aritmética
L	Comprimento do corpo-de-prova

LISTA DE ABREVEATURAS

BL	Bloco
C	Condições experimentais
CH	Chapa de fibra
CPS	Corpos-de-prova
CTE	Constante Dinâmica
CTEOC	Constante dinâmica obtida por meio de ondas de compressão na direção y das chapas
CTEOC'	Constante dinâmica obtida por meio de ondas de compressão na direção z das chapas
CTEOS	Constante dinâmica obtida por meio de ondas de superfície na direção y da chapa
CV	Coeficiente de variação
DMA	Diferença média absoluta
DMS	Diferença mínima significativa
DP	Desvio padrão
E	Espessura
EMB	Euro MDF Board
EN	Escores normais
MOR	Módulo de resistência à flexão estática em MPa
FI,FII,FIII	Fases que representam o desenvolvimento das condições experimentais

INCH24H	Inchamento após 24 horas
MDF	Medium Density Fiberboard
MOE	Módulo de elasticidade em MPa
OC	Onda ultra-sônica de compressão obtida na direção y da chapa
OC'	Onda ultra-sônica de compressão obtida na direção z da chapa
OS	Onda ultra-sônica de superfície obtida na direção y da chaopa
PU	Poliuretana
PU3070	Poliuretana com 30% de sólidos e 70% de solvente
PU7030	Poliuretana com 70% de sólidos e 30% de solventes
R	Resíduos
RM	Relação de médias
T	Tratamento aplicado
TP	Módulo de resistência à tração perpendicular em MPa
TS	Módulo de resistência à tração superficial em MPa
UF	Uréia formaldeído
UR	Umidade residual em %
UV	Luz ultravioleta
VE	Valor estimado
VO	Velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas
VOC	Velocidade de propagação da onda de compressão obtida por transdutores de faces exponenciais
VOC'	Velocidade de propagação da onda de compressão obtida por transdutores de faces planas
VOS	Velocidade de propagação da onda de superfície obtida por transdutores de faces planas
VVOC	Variação da velocidade de propagação da onda de compressão obtida por transdutores de faces exponenciais
VVOC'	Variação da velocidade de propagação da onda de compressão obtida por transdutores de faces planas
VVOS	Variação da velocidade de propagação da onda de superfície obtida por transdutores de faces planas

RESUMO

As tecnologias para produção das chapas denominadas “Medium Density Fiberboard” (MDF), confeccionadas com fibras de madeiras de reflorestamento de baixo custo e resinas fenólicas provenientes de uréia, representam para vários setores industriais uma possibilidade de agregar valores às espécies com pouco interesse comercial, possibilitando para os seguimentos industriais investimento promissores. Um aspecto importante a ser considerado sobre a utilização de resinas fenólicas na confecção de chapas MDF é que produzem emissões tóxicas poluidoras da natureza e nocivas ao ser humano. Dentro deste contexto, de acordo com o “Protocolo de Quioto” de 1997, os países industrializados precisam diminuir suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5 % até 2012. Considerando-se as exigências do “Protocolo de Quioto”, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de chapas MDF confeccionadas com poliuretana (PU) derivada do óleo de mamona, pois este produto apresenta baixos teores de toxidez sendo classificado como não poluente e não tóxico ao ser humano. A caracterização das chapas foi realizada considerando-se a utilização do equipamento de ultra-som da Marca Steinkamp modelo BP7 com transdutores de 45 kHz e a realização de ensaios físicos e mecânicos propostos pela EuroMDFBoard - EMB. A avaliação desenvolveu-se em três fases distintas: **1.** Na fase I foram realizados estudos exploratórios com o objetivo de verificar as características do PU sendo utilizado como adesivo para confecção de chapas de **Pinus caribaea**. Nesta fase foram confeccionadas chapas com 5 e 10 % de PU3070, que de acordo com a caracterização física e mecânica observou-se que as chapas apresentaram resistências compatíveis com as exigências da EMB, entretanto, a forte exalação de solvente inviabilizou seu manuseio do PU3070. **2.** Na fase II foram confeccionadas chapas com fibras de **Pinus caribaea** e **Eucalyptus grandis** com uma nova síntese de adesivo, denominada neste trabalho de PU7030. A caracterização física e mecânica determinou valores de resistências compatíveis com as exigências da EMB. Entretanto, verificou-se a necessidade de se ajustar o teor de umidade a temperatura e a pressão de prensagem. **3.** Na fase III novas chapas foram confeccionadas com fibras de **Pinus caribaea** e **Eucalyptus grandis** modificando-se o teor de umidade, a temperatura e a pressão de prensagem. Com o resultado da caracterização física e mecânica, observou-se que as alterações nas umidades, temperatura

e pressão de prensagem propiciaram resistências compatíveis com a EMB, com vantagens de utilização de menores teores de PU7030 e diminuição na temperatura de prensagem, representando economia no consumo de energia. Outro aspecto muito importante estudado neste trabalho foi a caracterização das chapas utilizando ensaios não-destrutivos. Neste caso foram realizadas medições, por meio de equipamento de ultra-som, utilizando-se transdutores de faces exponenciais e planas aplicados nas direções **x**, **y** e **z** das chapas. A partir das medições dos tempos de propagação das ondas ultra-sônicas determinaram-se as velocidades das ondas e as constantes dinâmicas das chapas. Estas variáveis foram comparadas com as propriedades de resistência das chapas obtidas nos ensaios estáticos. Em seguida desenvolveu-se análise estatística buscando-se avaliar as correlações entre os resultados de ensaios não-destrutivos e destrutivos tendo sido possível concluir que a utilização dos métodos de ensaios não-destrutivos é viável para inferir sobre as propriedades físicas e mecânicas das chapas. Com relação à utilização da PU7030, concluiu-se que essa poliuretana possibilita a substituição da resina fenólica na confecção das chapas MDF.

ABSTRACT

While employing low cost reforestation lumber, the technologies of the fabrication of fiber plates denominated “Medium Density Fiberboard” (MDF) offer to several industrial sectors the opportunity to aggregate worth to species with little or no commercial interest, opening to them the possibility of promising profitable investments. However, the phenolic resins used in the production of MDF plates are well-known pollutants to the environment and therefore harmful to the human beings in such a way that environmentally friendly alternatives have been eagerly sought. According to that, the present work has been aimed to evaluate the physical, chemical and mechanical properties of MDF manufactured with Polyurethane Adhesive (PU) derived from Castor Oil, due to the low toxicity and to the non-polluting characteristics of the resulting adhesive. The characterization of the plates has been accomplished with the help of Steinkamp BP7 ultrasonic equipment using 45 kHz transducers and the physical and mechanical tests recommended by Euro MDF Board - EMB. The work has been developed along three distinct phases. Initially a better understanding of the characteristics of the polyurethane adhesive derived from castor oil has been acquired. It has been learnt that the adhesive exhibits the main characteristic of a monocomponent synthesis, stabilized by air humidity. During that phase, plates with 5% and 10% of polyurethane adhesive have been manufactured, called Adhesive PU3070 in this work, corresponding to 30% of solids and 70% of solvents. The properties of the plates manufactured with this synthesis have been determined and it has been found that although they have met EMB demands, the strong exhalation of solvent has ruled out its usage for MDF manufacture. As for the second phase, fiber plates have been produced with a new synthesis, called Adhesive PU7030, that is, 70% of solids and 30% of solvents. Again mechanical properties have satisfied EMB regulations. However, during the tests, it has been noticed that in order to control the quality of the final product, a fine adjusting to the values of some important Variables in the manufacture process, such as humidity level, temperature and pressing pressure, would be necessary. Accordingly, in the last phase, using *Pinus caribea* as fiber material, three experimental conditions have been elaborated, one for each controlled Variable, and repeated again for *Eucalyptus gaudis*. Resulting from the adjusting of the

variables, it has been observed that during the manufacture process, plates using much less adhesive than the former standards still have satisfied EMB demands fully, with advantages of a significant decrease in the pressing temperature and the corresponding energy savings. The characterization of the plates using non-destructive tests has been an important feature of the present work. Measurements have been performed in the plates by means of ultrasound equipment, using exponential as well as plane face transducers. From the readings, the propagation times of the ultrasonic waves have been evaluated, allowing to the determination of the propagation velocity of the ultrasonic waves through the material and consequently its dynamic parameters, which have been correlated to the mechanical properties of the plates, by means of a suitable statistic model. It has been concluded from the results that non-destructive test methods could as well be employed for the characterization of the physical and mechanical properties of the plates.

1 . INTRODUÇÃO

O Brasil, embora se caracterize por ser um país possuidor de vastas áreas florestadas, pouco incorporou os avanços tecnológicos alcançados na utilização da madeira para a construção civil. A maneira inadequada de utilização da madeira no Brasil, por exemplo, gerou preconceitos sobre o material, inviabilizando, muitas vezes, que tecnologias apropriadas, desenvolvidas sob conceitos corretos de aproveitamentos racionais da matéria-prima sejam reconhecidas e aplicadas.

A alternativa para a indústria de base florestal concorrer no mercado mundial, com maior vantagem, está em agregar valor ao produto final. Esta, aliás, está sendo uma tendência de muitos países, que já projetaram seu crescimento baseado em um aumento no valor do produto exportado.

Relatos contidos na **REVISTA DA MADEIRA (2002)** revelam que, em nível mundial, o comércio de produtos de maior valor agregado chegou a US\$ 41,5 bilhões em 2000, o que representou um aumento de 27 % sobre o valor de 1996, ou seja, um crescimento de 6,5 % ao ano. A venda de matéria-prima em bruto já não é a melhor opção para garantir mercado e muito menos para aumentar os valores exportados, sendo necessário adequar-se às necessidades do mercado e oferecer um produto mais elaborado.

Um exemplo atual de utilização desta estratégia vem dos países asiáticos. A China, a Indonésia e a Malásia lideram as exportações de produtos de maior valor agregado em madeira. Somente a China exportou US\$ 5 bilhões em 2000 em produtos de madeira com maior valor agregado. Os Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Austrália e Espanha são os maiores importadores, cabendo, somente aos Estados Unidos, importações de US\$ 13,4 bilhões em 2000.

Atualmente a China é vista como o grande consumidor do momento, pois seu mercado interno está crescendo consideravelmente, em especial, algum segmento como o de pisos residenciais que, em 20 anos triplicou, passando da média de 3,7 m² por habitante para 9,6 m².

A expectativa, entretanto, é ainda mais animadora, considerando-se que a projeção, somente de pisos de madeira, deva chegar à média de 18 m² por habitante em 2010.

A exemplo dos países asiáticos, este é o caminho a ser seguido pelas indústrias madeireiras e moveleiras do Brasil, que é restrita na produção de derivados de madeira com maior valor agregado. Modernização, aumento de produtividade e pesquisas ainda são as ações que precisam ser mais bem tratadas em nosso país.

Considerando-se o atual contexto mundial da produção de derivados de madeira com maior valor agregado, a modernização e o desenvolvimento de pesquisas para melhorar a qualidade das chapas denominadas “Medium Density Fiberboard” - MDF se constituiu na principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Além dos motivos econômicos descritos anteriormente, existem questões de igual importância, ou até mesmo mais significativas, relacionadas à saúde do ser humano, ou aquelas que afetam o equilíbrio ecológico do planeta. Tais aspectos referem-se à utilização de resinas sintéticas para confecção das chapas MDF, que normalmente são confeccionadas utilizando-se resinas fenólicas com altos teores de formaldeído, produzindo emissões de formol prejudiciais ao homem e a natureza.

Os aspectos relacionados à degradação do meio ambiente devido à utilização de materiais inadequados, mas passíveis de serem substituídos por produtos ecologicamente corretos e com tecnologias apropriadas, foi o principal objetivo deste trabalho. Sendo assim, neste trabalho se avaliou a poliuretana (PU) derivada do óleo de mamona, desenvolvido no Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, para a confecção de chapas MDF.

O referido adesivo apresenta, dentre outras vantagens, baixos teores de toxidez, não sendo prejudicial ao ser humano e ao meio ambiente. Além disso, a cura pela umidade do ar confere às chapas MDF resistência à umidade quando expostas a ambientes úmidos.

A motivação para a realização deste trabalho foi, portanto, plenamente justificável em função dos aspectos relativos à comercialização de produtos com maiores valores agregados, da necessidade de se criar divisas para o país e, principalmente, da necessidade de desenvolver

tecnologias apropriadas visando o aproveitamento ecologicamente correto dos recursos naturais disponíveis no Brasil.

Durante a realização do planejamento para a execução dos ensaios, um outro aspecto de importância atual foi destacado, dando lugar a um segundo objetivo para esse trabalho: a utilização de métodos de ensaios não-destrutivos para caracterização das chapas MDF. Tendo em vista que, no Brasil, empresas geralmente utilizam procedimentos de ensaios destrutivos para a caracterização das chapas, a introdução de uma nova proposta de caracterização, por meio de ensaio não-destrutivo com equipamento de ultra-som, se tornou, também, uma motivação da pesquisa, uma vez que tais ensaios são, atualmente, uma tendência mundial.

A utilização do ultra-som apresenta como vantagem, a possibilidade de realização de ensaios diretos nas chapas, sem necessidade de confecção de amostras menores, evitando assim, a necessidade do corte de algumas chapas que representam um determinado lote da linha de produção. Ressalta-se, ainda, que os ensaios não-destrutivos possibilitam a caracterização das chapas em tempo muito inferior comparando-se aos ensaios propostos pelas normas de ensaios convencionais.

Neste trabalho foram avaliadas chapas MDF confeccionadas com fibras de **Pinus caribaea** e **Eucalyptus grandis**. Os detalhes da pesquisa estão apresentados em cinco capítulos. As descrições sobre a atual situação da industrialização e comercialização das chapas MDF, bem como os estudos relativos à sintetização e utilização de poliuretanas na confecção de produtos derivados de madeira, encontram-se no capítulo 2.

No capítulo 3 foi apresentado o material produzido com fibras de madeira, foco central deste estudo, bem como o detalhamento da metodologia utilizada para a caracterização física e mecânica das chapas MDF, que se constituiu de uma descrição dos procedimentos propostos pela EMB e dos procedimentos utilizando-se o equipamento de ultra-som.

O capítulo 4 é constituído dos resultados e de sua respectiva discussão, onde se procurou trabalhar os ensaios não-destrutivos e destrutivos, objetivando-se apresentá-los, por meio de tabelas e gráficos, para propiciar uma análise precisa e um melhor diagnóstico sobre a confecção de chapas MDF utilizando-se PU derivado de óleo de mamona.

De posse das análises apresentadas nos gráficos e tabelas, foi possível elaborar discussão detalhada sobre os resultados dos ensaios e avaliar a possibilidade de utilização da PU derivado de óleo de mamona, bem como foi possível avaliar a utilização de métodos não-destrutivos, por meio de equipamento de ultra-som, para caracterização física e mecânica das chapas.

O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões da pesquisa desenvolvida. Em seguida apresentam-se as principais referências bibliográficas sobre o assunto pesquisado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. BREVE HISTÓRICO SOBRE CHAPAS DE FIBRA

Segundo **MALONEY (1993)** o primeiro exemplo de produto derivado de madeira surgiu por volta de 1450 a.C. no mural “Escultura de Tebas”, esses produtos eram conhecidos como “laminas”; observou que por volta de 1650 existiam registros referentes à obtenção de lâminas derivadas de madeira maciça por meio de serras verticais e em 1777 passaram a serem utilizadas serras circulares. Com o surgimento das serras de fita em 1808 ocorreu o grande avanço técnico para transformação de madeira maciça.

Em decorrência da evolução tecnológica no processo de fabricação das lâminas, desenvolveram-se as faqueadoras e os tornos laminadores que ainda hoje são utilizados. Esse avanço tecnológico propiciou o surgimento em 1824, na cidade de New York, da primeira empresa comercial de lâminas, entretanto, a utilização de lâminas como peças estruturais deu-se em 1905 e a partir de 1920 desenvolveu-se a técnica para confecção de compensados, e em 1934, surgiram os primeiros adesivos resistentes à água, que possibilitaram a fabricação de compensados para uso exterior.

Os primeiros exemplares de “chapas de fibra” foram encontrados por volta do século VI a.C, eram denominadas “chapas duras” e usadas nas paredes de pequenas habitações. Entretanto, somente na Inglaterra em 1772, foi dado o primeiro impulso para o uso na construção de chapas leves, quando se patenteou o “papier maché” para aplicação em divisórias, portas, móveis e em carruagens.

O século XIX se caracterizou pelo início da produção de chapas de fibra na Inglaterra. O processo foi desenvolvido pela empresa Millboard Co, que inicialmente fabricava chapas semiduras utilizando uma máquina para produção de papelão com quatro cilindros formadores. O grande desenvolvimento da indústria de chapas de fibra se deu após a implantação dos processos masonite e asplund, entre 1926 e 1931.

O principal objetivo do desenvolvimento da tecnologia para produção de chapas de fibra surgiu com a possibilidade de agregar valor às madeiras de menor qualidade e custo

transformando-as em produtos nobres e valiosos. Nesse sentido criou-se uma tecnologia própria para transformação de madeiras maciças adequadas para a produção de chapas de fibra.

A idéia de transformar madeiras de baixa qualidade, agregando valores aos produtos, incentivou o surgimento na Alemanha, no início dos anos 50, da tecnologia para produção de aglomerados. Estes produtos tiveram enorme aceitação, que no início da década de 80 superou a produção do compensado.

A idéia de se agregar valor aos produtos derivado de madeira e a necessidade de se obterem chapas que apresentassem maior estabilidade dimensional, resistência à umidade e maior resistência à ação de pregos e parafusos, foram desenvolvidas na década de 60 as chapas de fibra do tipo MDF, fabricadas pela Miller Hofft Company que atualmente são consideradas o maior avanço tecnológico no setor industrial de processamentos de produtos derivados de madeira maciça.

A primeira chapa do tipo MDF foi produzida comercialmente em Deposit – NY, por Harry Raddin que deu nome ao produto baseando-se na descrição do processo. A partir de 1967 as iniciais MDF passaram a identificar o termo Medium Density Fiberboard. Estas chapas possuem características que se aproximam da madeira sólida, suas propriedades físico-mecânicas propiciam aplicações variadas. Atualmente o MDF é considerado o substituto natural da madeira sólida.

O avanço tecnológico no setor de silvicultura aliado à disponibilidade de áreas para o plantio de madeira e de altos custos dos transportes levou alguns países, inclusive o Brasil, a apontarem a madeira reflorestada como matéria-prima para produção de chapas MDF.

Segundo informações provenientes da **SUNDS DEFIBRATOR (1993)**, 50 % das plantas de MDF no mundo utilizam coníferas. O restante usa 20 % folhosas, 20 % de misturas de coníferas e folhosas, 7 % utilizam bagaço de cana-de-açúcar e talos de algodão e somente 3 % outros tipos de matéria-prima.

A adaptabilidade, a produtividade e a amplitude de usos da madeira de *Eucalyptus sp* têm favorecido o plantio em programas de reflorestamento de várias espécies deste gênero.

Dados do inventário do Estado de São Paulo apresentados por **KRONKA (1993)**, demonstram que da área reflorestada no Estado 71 % são de eucalipto.

Conforme **ELEOTÉRIO (2000)**, as chapas MDF começaram a serem produzidas no Brasil somente em 1997 e tornaram-se disponíveis no mercado a partir do final dos anos 80. O consumo de MDF anterior ao período mencionado era proveniente de importações do Chile e da Argentina.

Na década de 80 surgiu no mercado o High Density Fiberboard (HDF), que é um MDF com espessura reduzida e com características similares às chapas duras de fibras. Essa nova tendência de utilização de chapas advém do setor de construção civil, onde em função de pressões ambientalistas e o conceito de utilização racional dos recursos renováveis, propiciou o desenvolvimento de chapas estruturais tais como o Laminated Veneer Lumber (LVL), Oriented Strand Board (OSB) e o Flak Board (FB).

O OSB é um tipo de chapa confeccionado com partículas (flocos) orientadas, utilizadas em substituição ao compensado. O painel LVL se constitui de lâminas paralelas coladas e vêm substituindo a madeira serrada em componentes estruturais, com a vantagem de eliminar o defeito natural presentes na madeira.

2.2. ASPECTOS SOBRE AS CHAPAS MDF

A partir de 1993 a EUROMDFBOARD - EMB definiu as chapas de fibra do tipo MDF como sendo chapas com espessura igual ou superior a 1,5mm e densidade igual ou superior a 0,50g/cm³, fabricadas sob processo seco, com fibras lignocelulósicas, unidas com adesivos sintéticos e curadas sob temperatura e pressão, podendo possuir propriedades adicionais de retardância ao fogo, resistência à umidade e resistência ao ataque biológico.

Em 1995 a EMB juntamente com o Comitê Técnico da Associação de chapas de fibra de média densidade elaboraram a terceira edição do manual de procedimentos para confecção das chapas MDF, baseado no manual de procedimentos PREN 625/1993 e denominado de

EMB/IS-1995. Atualmente este manual é o mais importante documento que se tem referência sobre as chapas MDF. Segundo este documento, essas chapas são comercializadas e classificadas segundo as tabelas apresentadas no anexo 1 (tabelas A1. 1 a A1. 8).

ASPLUND (1973) descreveu que o processo de confecção das chapas MDF inicia-se com a obtenção das fibras. As toras verdes de madeira são processadas na forma de cavacos que são aquecidos sob pressão de vapor de água a temperaturas que variam entre 120 e 180⁰C, esse procedimento amolece a camada ligante entre as fibras e facilitar o desfibramento dos cavacos. As fibras resultantes desse processo formam a “polpa de fibras” que apresenta alto teor de umidade e deverá secar em estufa até atingir 4 % de umidade para possibilitar a adição de adesivos.

Os adesivos utilizados normalmente são classificados em função de seus componentes primários, resistência à umidade e temperatura de cura. O amido, caseína e albumina, são exemplos de adesivos de origem natural enquanto que a uréia, resorcinol, fenol e melamina pertencem ao grupo dos adesivos de origem sintética.

A temperatura de cura é outro parâmetro utilizado para classificar os adesivos, a tabela 2.1 apresenta uma classificação em função da temperatura de cura.

Tabela 2.1 - Classificação de adesivos em função da temperatura de cura

TEMPERATURA DE CURA (°C)	CLASSIFICAÇÃO
< 30	Adesivos de baixa temperatura
30 a 90	Adesivos de média temperatura
> 90	Adesivos de alta temperatura

Fonte: ASPLUND (1973)

Estudos desenvolvidos por **ALBITTRON (1976)** sobre a eficiência da resina uréia formaldeído na confecção de chapas MDF, identificaram a existência de um parâmetro que correlaciona a quantidade aplicada de resina com o ótimo desempenho das propriedades físicas das chapas. Concluíram que o teor de resina influencia em algumas propriedades mecânicas, tais como o módulo de ruptura, módulo de elasticidade, módulo de resistência à tração perpendicular ao plano da chapa e que a absorção de água e inchamento apresentam relação linear negativa com a porcentagem de resina.

BÜCKING (1982) considera a aplicação de resinas em MDF num dos pontos mais críticos na fabricação destas chapas. A adição da resina pode ser feita pulverizando-se as fibras secas e neste caso, o processo deve garantir uma distribuição homogênea da resina para propiciar maior área de contato entre resina e fibra.

PLEPIS (1991) concluiu que uma ótima ligação química se obtém aplicando calor para propiciar maior fluxo do adesivo entre os pontos de ligação e para retificar as fibras possibilitando maior superfície de contato.

A pré-prensagem é outro procedimento muito importante no processo de confecção das chapas MDF. Segundo **BUTTERFIELD (1992)** esse procedimento orienta as fibras preferencialmente no sentido horizontal ao plano da chapa, facilitando a ação do adesivo que ocorre em três fases distintas: umedecer as fibras; fluir de modo controlado durante a prensagem e finalmente adquirir forma sólida.

A ação do umedecimento das fibras depende da natureza físico-química do adesivo e da superfície da fibra. Solventes e polímeros de baixo peso molecular tendem a umedecer e penetrar mais rapidamente nas fibras, enquanto que, adesivos de alto peso molecular umedecem e penetram mais lentamente nas fibras, resultando em acúmulos na superfície, neste caso, a adsorção e difusão dos líquidos na parede celular causam inchamento das substâncias lignocelulósicas.

CHOW (1992) ao estudar diferentes níveis de resina fenol-formaldeído em chapas com misturas de fibras de madeira (70 % “hardwoods” e 30 % “softwoods”), verificou que a umidade do colchão e a temperatura de prensagem influenciaram na resistência das chapas submetidas à flexão estática, tração perpendicular ao plano da chapa, expansão linear, absorção e inchamento.

Uma desvantagem na utilização de resinas fenólicas é a emissão de formaldeído, segundo **PIZZI (1994)** a produção de grandes volumes de chapas MDF propicia a emissão taxas de formaldeído prejudiciais ao meio ambiente e ao ser humano.

A **FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999)** observou como desvantagem na utilização da resina uréia formaldeído para produção de MDF, as baixas resistências a altas

umidades e altas temperaturas e principalmente a emissão de formaldeído, que são classificados como produtos cancerígenos.

Estudos desenvolvidos por **ELEOTÉRIO (2000)** identificaram que cerca de 90 % das indústrias no mundo utilizam resinas uréia formaldeído (UF), principalmente porque estas resinas possuem menores custos, reagem rapidamente durante a prensagem à quente e são brancas ou incolores, entretanto, não são adequadas para usos exteriores, pois, não são resistentes a umidades elevados.

As desvantagens do uso das resinas UF estimularam vários estudos para melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos MDF, como por exemplo, a influência da densidade da matéria-prima, do comprimento das fibras, do tipo e do teor adequado de resina, do teor de umidade do colchão de fibras e das variáveis relacionadas ao desfibramento e prensagem das chapas.

Por outro lado, as vantagens do processo de produção das chapas MDF associado as excelentes qualidades do produto, considerada o substituto da madeira, fizeram com que as chapas MDF ganhassem seu espaço no mercado internacional.

Pesquisas realizadas pela **SUNDS DEFIBRATOR (1993)** concluíram que os grandes centros consumidores de produtos derivados de madeira tenderiam substituir as chapas de aglomerado pelas chapas MDF. A tabela 2.2 apresenta o crescimento da produção mundial de chapas MDF entre anos de 1980, 1990 e 1992, configurando uma nova preferência de consumo.

Tabela 2.2 - Capacidade produtiva da produção mundial de MDF entre 1980, 1990 e 1992.

REGIÕES	PRODUÇÃO EM M ³		
	1980	1990	1992
América do Norte	1.250.000	2.049.000	2.272.000
Europa ⁽¹⁾	173.000	2.560.000	2.919.000
América do Sul	-	200.000	241.000
África	-	125.000	135.000
Ásia ⁽²⁾	194.000	883.000	1.038.000
Oceania	70.000	650.000	960.000

Fonte: SUNDS DEFIBRATOR

(1) Não inclui Leste da Europa e USSR (2) Não inclui Turquia, Índia e China.

No Brasil, estudos apresentados na **REVISTA DA MADEIRA (2000)** relatam que o dinamismo do mercado interno brasileiro, o potencial de oferta de matéria-prima e as dimensões do país possibilitam a geração de fatores importantes para a implantação e desenvolvimento da indústria nacional de chapas derivadas de madeira, privilegiando este setor e propiciando rápida expansão.

O segmento produtor de chapas derivadas de madeira, especialmente MDF e aglomerados, tem demonstrado elevado dinamismo com reflexo das altas taxas de crescimento da indústria de móveis. A estabilização da economia incorporou ao mercado de móveis novas parcelas de consumidores, particularmente dos estratos representados pelas famílias de menor renda.

Durante o ano de 1999, a produção de MDF no Brasil concentrava-se nas indústrias DURATEX em São Paulo e TAFISA no Paraná, que apresentaram, neste período, uma produção de 357.000m³. Neste mesmo ano iniciou a implantação de outras duas grandes empresas no Paraná, com previsão de funcionamento no segundo semestre de 2001, a PLACAS DO PARANÁ S.A. e a MASISA S.A., com capacidade para produzir 180.000 e 240.000m³ respectivamente e com projeções de ofertas, para o período entre 2001 a 2003, de aproximadamente 860.000 m³.

Desde 1980 as indústrias moveleiras utilizam madeira de Pinus proveniente de reflorestamento incentivado, em substituição às essências nativas que começavam a se exaurir. Com o surgimento da tecnologia para fabricação de chapas MDF, propiciando excelentes qualidades às chapas reconstituídas, intensificou-se a produção de Pinus e seu conseqüente emprego neste setor industrial.

Segundo relatórios apresentados pelo **BNDES (2002)** o MDF é um produto que surgiu na década de 60 e apresenta algumas características mecânicas similares à madeira maciça e superiores aos painéis de madeira aglomerada; possui boa estabilidade dimensional e excelente capacidade de usinagem. No Brasil começou a ser fabricado em 1997, ocorrendo, desde então, um expressivo crescimento de consumo, evidenciando a aceitação do produto pelo mercado e incentivando a instalação de mais de três fábricas.

Durante 2002 o principal consumidor de MDF no Brasil foram as indústrias moveleiras, todavia, a construção civil é um mercado potencial e ainda não foi devidamente explorado, principalmente em itens como pisos, almofadas de portas, divisórias, batentes, peças torneadas, etc.

O **BNDES (2002)** descreve ainda que a produção mundial de MDF duplicasse entre 1996/2000, atingindo 18 % de crescimento médio anual. Observa-se na figura 2.1 que os Estados Unidos, Alemanha e China contribuíram com 39 % do volume mundial produzido, enquanto que o Brasil no grupo dos 41 % (outros) participou com somente 2 %.

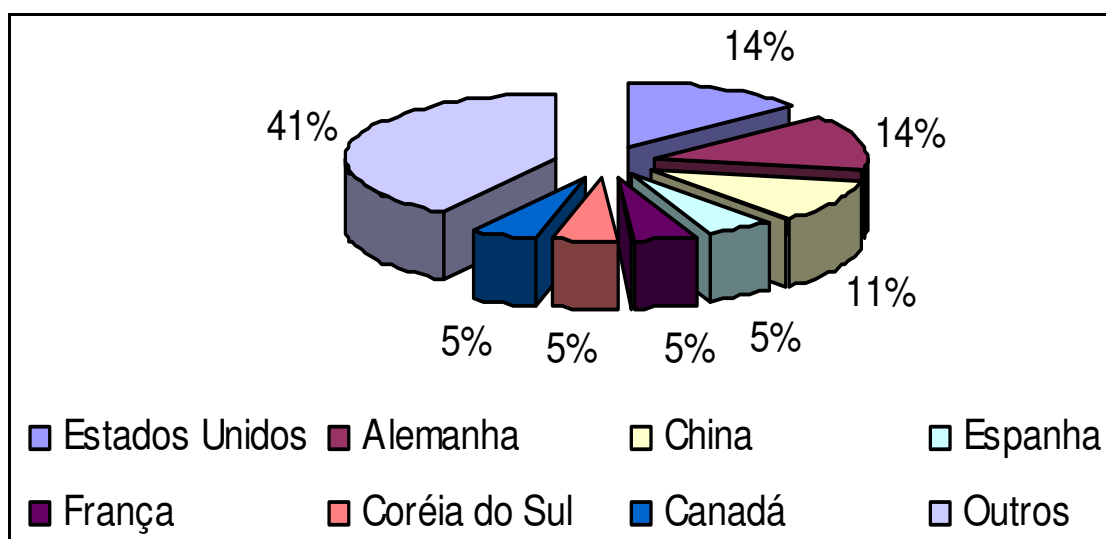


Figura 2.1 - Produção Mundial de MDF em 2000

Fonte: FAO.

Por outro lado o consumo mundial de MDF vem crescendo em média cerca de 20 % aa. Os principais consumidores, Estados Unidos, China e Alemanha, respondem por cerca da metade da demanda global. Analisando-se a taxa média de expansão de consumo de alguns países (tabela 2.3), observam-se crescimentos acima da média mundial na China, na Alemanha e no Brasil.

Tabela 2.3 - Taxa média de expansão de consumo de MDF no mundo entre 1996 a 2000.

Regiões	VARIAÇÃO ANUAL (%) ENTRE 1996 A 2000
Estados Unidos	19,0
China	21,2
Alemanha	40,6
Coréia do Sul	7,8
Japão	16,1
Brasil	64,6
Europa	27,0
Mundo	20,2

Fonte: FAO, BNDES.

É importante considerar o crescimento brasileiro no consumo de MDF entre os anos de 1996 a 2000, uma vez que a produção de MDF no Brasil iniciou-se em 1997. Pois, antes do período mencionado o consumo brasileiro era pouco representativo, correspondente a pequenas quantidades importadas.

Entre 1996/2000 observou-se que o comércio mundial de MDF representou 35.% do volume fabricado, sendo que, a Europa e o Chile (América Latina) são regiões exportadoras e a Ásia e América do Norte são importadores e somente em 2000 as exportações movimentaram cerca de US\$ 1,5 bilhões.

Considerando-se que somente a partir de 1997 deu-se início a produção de MDF no Brasil e que em 1999 a produção nacional era de 357.000m³. Devido à implantação de novas indústrias registrou-se em 2001 uma produção nacional de 609 000m³, voltada totalmente para o mercado interno e que apesar disto, essa produção não foi suficiente para eliminar as importações. Os números apresentados evidenciam um acelerado crescimento deste setor industrial com volumes de ofertas ainda insuficientes.

A tabela 2.4 apresenta o crescimento da produção de MDF no Brasil no período entre 1997/2001, onde se observa que para suprir as necessidades de consumo em 2001 foram importados 24 000 m³ correspondendo a 3,8 % da produção.

Tabela 2.4 - Produção e consumo nacional de MDF no período de 1996 a 2001

	Produção em m ³					
	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Produção		30.000	167.000	357.000	381.000	609.000
Importação	53.000	113.000	36.000	11.000	11.000	24.000
Exportação			18.000	17.000	3.000	4.000
Consumo aparente	53.000	143.000	185.000	351.000	389.000	629.000
Capacidade instalada		60.000	250.000	375.000	375.000	698.000
Taxa de utilização %		50.000	67.000	95.000	102.000	87.000

Fonte: ABIPA, Empresas, BNDES.

A Figura 2.2 apresenta o gráfico da taxa de crescimento médio da produção e consumo de MDF no Brasil que se constituiu de 64 % entre 1997/2001.

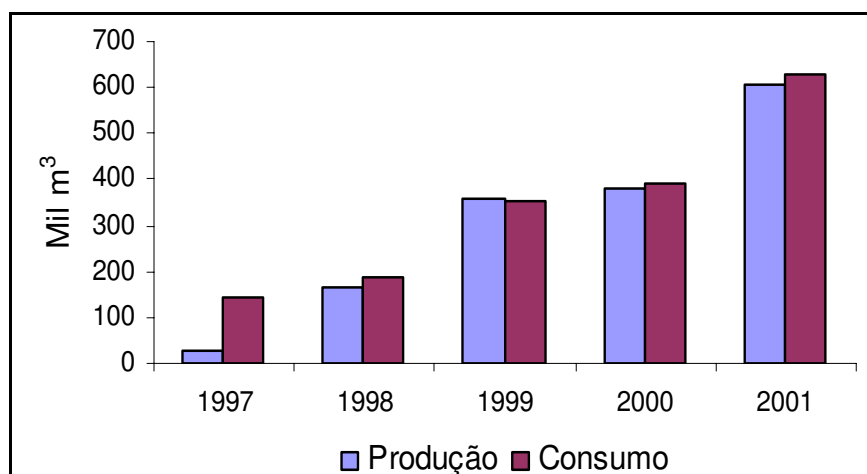


Figura 2.2 - Evolução da produção e consumo de MDF no Brasil, entre 1997/2001.

Fonte: ABIPA

Em 2002 o BNDES identificou que foram instaladas quatro fábricas de MDF no Brasil, todas com tecnologia de última geração, utilizando madeira de pinus (cavacos ou resíduos de serrarias) como principal insumo e com capacidades de produção de 1.080.000m³ por ano. A tabela 2.5 evidencia os volumes da capacidade produtora nacional.

Tabela 2.5 - Capacidade produtora de MDF das empresas brasileiras durante 2002

Empresas	Produção em m³	%
TAFISA	360.000	33,3
MASISA	260.000	24,1
PLACAS DO PARANÁ	240.000	22,2
DURATEX	220.000	20,4
Total	1.080.000	100,0

Fonte: Empresas

2.3. BREVE HISTÓRICO SOBRE POLIURETANAS (PU)

As PU foram desenvolvidas por Otto Bayer, em 1937, tornando-se uma fantástica história de sucesso e um negócio de muitos bilhões de dólares no mundo atual. São produzidos pela reação de poliadição de um isocianato (di ou polifuncional) com um poliálcool e outros reagentes, como os agentes de cura ou extensores de cadeia (contendo dois ou mais grupos reativos), catalisadores, agentes de expansão, surfactantes, cargas, etc.

Os isocianatos podem ser aromáticos ou alifáticos e os compostos hidroxilados podem variar quanto ao peso molecular, natureza química e funcionalidade; os polióis podem ser poliéteres, poliésteres, ou possuir estrutura hidrocarbônica. A natureza química bem como a funcionalidade dos reagentes deve ser escolhida de acordo com as propriedades finais desejadas; esta flexibilidade possibilita a obtenção de materiais com diferentes propriedades físicas e químicas, e faz com que as PU ocupem posição importante no mercado mundial de polímeros sintéticos de alto desempenho.

O desenvolvimento comercial das PU começou na Alemanha no final da década de 1930, inicialmente com a fabricação de espumas rígidas, adesivos, e tintas. Os elastômeros tiveram a sua origem na década de 1940, na Alemanha e Inglaterra. Entretanto, durante a Segunda Guerra Mundial o desenvolvimento das PU foi descontinuado, mas desde 1946 o seu mercado tem apresentado um crescimento enorme.

A década de 1950 registrou o desenvolvimento comercial das PU em espumas flexíveis e durante os anos 60, o uso dos clorofluorcarbonos (CFC) como agente de expansão das

espumas rígidas resultou no grande emprego deste material em isolamento térmico. Na década de 1970 as espumas semiflexíveis e semi-rígidas revestidas com materiais termoplásticos foram largamente usadas na indústria automotiva.

Nos anos 80, o crescimento de maior importância comercial foi a moldagem por injeção e reação (RIM), dando ímpeto aos estudos das relações entre estrutura molecular e propriedades das PU.

Na década 1990 e neste início de milênio, observou-se a preocupação com o meio ambiente, com as pesquisas para substituição dos CFC (danosos à camada de ozônio terrestre) por sistemas que não possuam compostos orgânicos voláteis e os processos de reciclagem das PU.

Na América Latina, as aplicações das espumas flexíveis de PU em colchões e estofados correspondem a 57 % da demanda total, enquanto que as aplicações automotivas respondem por 10 %, as espumas rígidas mobilizam a parcela de 16 % e são usadas principalmente em isolamento térmico 12 % e na construção 4 %.

Conforme apresentado na Figura 2.3, os segmentos de PU sólidos mobilizam somente 17 % de todo o mercado, como os adesivos e selantes 4 %, elastômeros 7 %, revestimentos 6 %. Os novos desenvolvimentos de uso das PU em adesivos, revestimentos, elastômeros, selantes, solados e outros produtos farão certamente aumentar significativamente este volume.

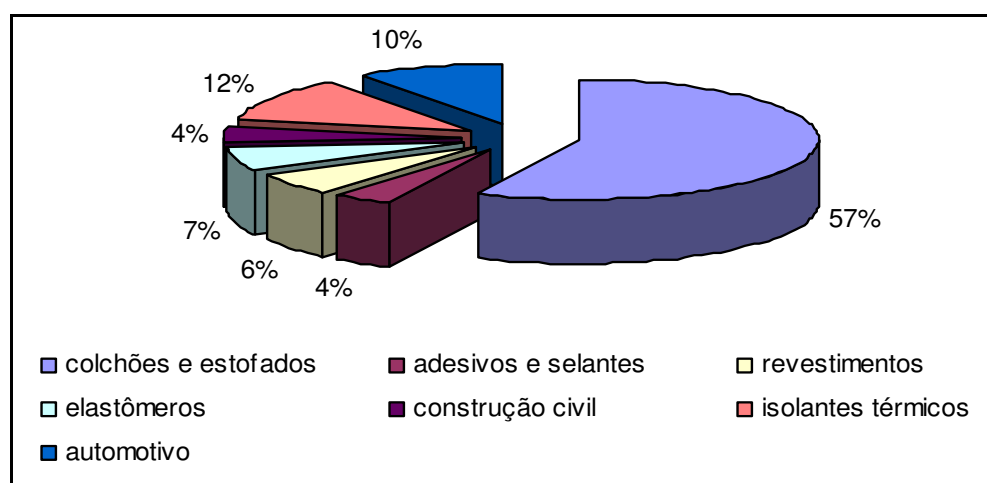


Figura 2.3 - Consumo de PU por segmento na América Latina em 2001.

Fonte: VILAR (2002)

Desde os anos 90, o mercado Latino Americano cresceu de 240 mil toneladas, para um consumo atual estimado de 600 mil toneladas anuais, representando cerca de 6 a 7 % do mercado mundial, entretanto, é prevista uma taxa de crescimento de 4 % ao ano, com um consumo de 700 mil toneladas em 2005. Uma das variáveis que tem ajudado a impulsionar o crescimento do mercado é a substituição de outros materiais pelas poliuretanas, como, por exemplo, seu elevado nível de utilização nos automóveis, refrigeradores, adesivos, e em construção.

A natureza da adesão das PU é um aspecto importante a ser considerado, pois as ligações químicas e físico-químicas podem propiciar maior ou menor resistência aos produtos. Em geral, os líquidos somente molham a superfície dos sólidos que tenham maior energia superficial, ou seja, a tensão superficial do adesivo líquido deve ser menor que a energia livre superficial do sólido.

Materiais inertes com baixa energia superficial necessitam de modificações em suas superfícies antes de serem molhados por adesivos contendo isocianatos livres. Normalmente estes materiais são compostos por tetrafluoretileno, polisiloxanos, polietileno e afins, nestes casos, as modificações nas superfícies dos materiais podem ser feitas por meio de calor (chama), daguerreotipação (tratamento químico), luz ultravioleta (UV), descarga de arco voltaico ou abrasão. Entretanto, na maioria dos casos, as superfícies dos materiais podem ser molhadas pelos adesivos PU sem necessidades de tratamentos especiais.

Os adesivos PU polimerizam para formar ligações resistentes, sem necessidade de altas temperaturas. As elevadas forças de ligações interfaciais são derivadas não somente das forças físicas, resultantes do contato íntimo, mas também da facilidade do adesivo formar ligações hidrogênio ou ligações covalentes com diferentes substratos, como na reação com grupos aminas ou amidas (figura 2.4).

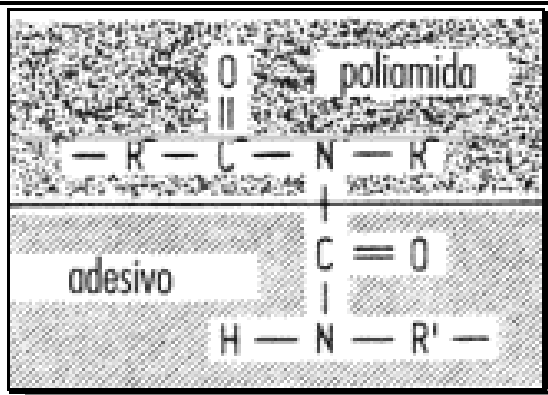


Figura 2.4 - Ligação covalente entre isocianato e poliamida
 Fonte: VILAR (2002)

Normalmente as ligações dos adesivos PU possuem excelente durabilidade, especialmente quando são sintetizados com polióis hidrofóbicos, como polióis poliéter e polibutadieno líquido.

2.3.1. ISOCIANATOS

Conforme **VILLAR (2002)** os isocianatos apresentam suas características bem definidas e são classificados comercialmente segundo a tabela A2. 1 apresentada no Anexo 2.

Na estrutura eletrônica do grupo isocianato observa-se que são possíveis ligações com estruturas de ressonância, conforme apresentado na equação da Figura 2.5. A densidade de elétrons é menor no átomo de carbono, intermediária no nitrogênio e maior no oxigênio.

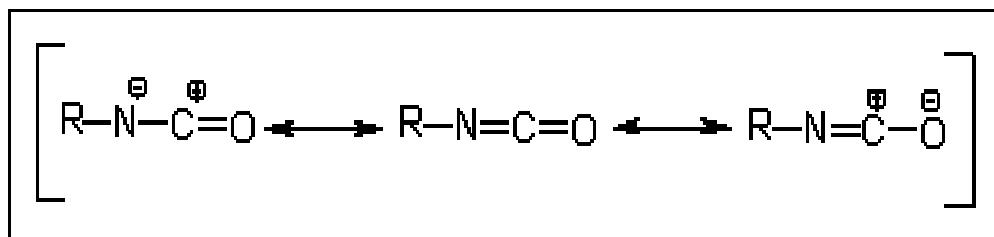


Figura 2.5 - Estruturas de ressonância do grupamento isocianato.
 Fonte: VILAR (2002)

Nos poliuretanas a maioria das reações dos isocianatos ocorre por meio da adição da dupla ligação C = N, ou seja, um centro nucleofílico contendo um átomo de hidrogênio ativo ataca o carbono eletrofílico e o átomo de hidrogênio ativo é então adicionado ao nitrogênio. Grupos aceptores de elétrons, ligados ao grupamento NCO, aumentam sua reatividade e os doadores a reduzem, e por isso, os isocianatos aromáticos são mais reativos do que os alifáticos. A ocorrência de impedimento estérico tanto no grupo isocianato, quanto no composto com hidrogênio ativo, provocam diminuição na reatividade.

Na tabela 2.6 estão representados os principais grupos doadores que reagem com isocianatos dando origens às poliuretanas.

Tabela 2.6 - Grupos doadores que reagem com isocianatos.

ISOCIANATO	CLASSE DOADORA	POLIURETANAS
R - NCO	+ R'OH	$\longrightarrow \text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OR}'$ Uretano
R - NCO	+ R'NH ₂	$\longrightarrow \text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{NHR}'$ Uréia
R - NCO	+ H ₂ O	$\longrightarrow \text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{NHR}' \text{ (uréia)} + \text{CO}_2$ Poliuréia
R - NCO	+ $\text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OR}'$	$\longrightarrow \begin{array}{c} \text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OR}' \\ \\ \text{CONHR} \end{array}$ Alofanato
R - NCO	+ $\text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{ONHR}'$	$\longrightarrow \begin{array}{c} \text{RNH}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{NHR}' \\ \\ \text{CONHR} \end{array}$ Biureto

Fonte: VILAR (2002)

A reação de polimerização entre um álcool (R'OH) e um isocianato formando a PU é exotérmica e libera 24 kcal/mol de uretano formado. A reação dos isocianatos com álcoois é uma reação de velocidade moderada, sendo normalmente catalisadas por bases, principalmente as aminas terciárias e por organometais.

A estrutura dos compostos influencia a reatividade e as hidroxilas primárias, secundárias e terciárias têm reatividade decrescente devido ao efeito estérico dos grupos metílicos vizinhos.

A basicidade das aminas exerce forte efeito catalítico nas reações dos isocianatos. Portanto, os compostos hidroxilados usados como extensores de cadeia ou formadores de ligações cruzadas, que contenham grupamentos amino terciários como a trietanol aminas apresentam efeito catalítico.

As reações dos isocianatos com aminas ($R'NH_2$), formando poliuréias, são muito rápidas e não necessitam de catálise. Aminas alifáticas reagem mais rapidamente do que as aminas aromáticas de menor basicidade, desde que não haja impedimento estérico muito significativo. As aminas aromáticas serão tão menos reativas quanto maior a eletronegatividade dos substituintes do anel aromático.

Em adição aos efeitos eletrônicos que influenciam a basicidade do nitrogênio amínico, o efeito estérico é um fator importante. Os substituintes na posição orto, da mesma forma que no caso dos isocianatos retardam fortemente a velocidade de reação. As aminas alifáticas que são muito reativas têm emprego como extensores de cadeia, em processos em uma etapa, na tecnologia de poliuréia por moldagem por injeção e reação (RIM) e revestimentos aplicados por RIM-Spray. Por outro lado, as aminas aromáticas bem menos reativas, como a metilenobis-o-cloroanilina (MOCA), são empregadas como extensores de cadeia nos processos de obtenção de elastômeros de PU moldados por vazamento.

A reação de expansão dos isocianatos com água (H_2O) resulta na formação de uréia e gás carbônico. Esta reação é de extrema importância na fabricação das espumas de PU. A difusão do gás carbônico para as bolhas de ar previamente nucleadas causa a expansão da espuma. A reação é exotérmica e desprende 47 kcal/mol de água.

A velocidade da reação do isocianato com a água é comparável à velocidade da reação do isocianato com álcool primário, porém muito menor que a velocidade da reação do isocianato com amina.

A catálise da reação de isocianatos com água é feita com o uso de aminas terciárias. Inicialmente é formado o ácido carbâmico que se decompõe em gás carbônico e na amina correspondente. Esta reage imediatamente com o diisocianato, formando uréia (Figura 2.6).

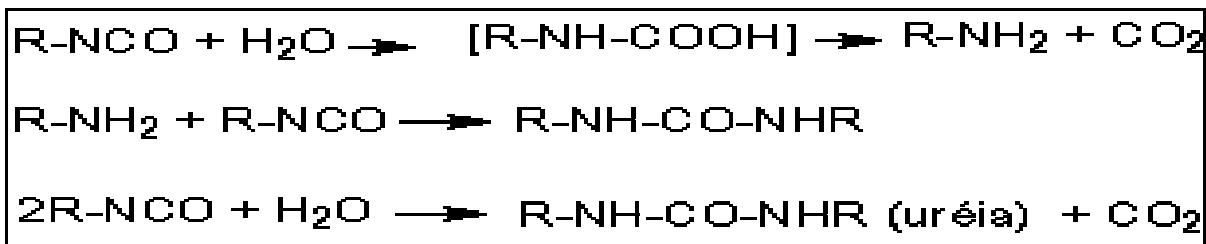


Figura 2.6 - Reação do grupamento isocianato com água.

Fonte: VILAR (2002)

Os hidrogênios dos grupos uretano e uréia podem reagir com o NCO formando ligações cruzadas alofanato e biureto. Estas reações são reversíveis e ocorrem em temperaturas superiores a 110°C, podendo ser classificadas como lenta e muito lenta, respectivamente, quando não catalisadas. Elas ocorrem principalmente na pós-cura dos PU, onde estes permanecem por longo tempo em temperaturas elevadas, como por exemplo: 22 horas a 70°C, ou dias à temperatura ambiente, dependendo do sistema empregado.

2.3.2. SISTEMAS LIGANTES

São sistemas de adesivos desenvolvidos para unir partículas de diversos materiais, os exemplos do uso de ligantes à base de isocianatos incluem a reciclagem de espumas flexíveis na fabricação de colchões; painéis e partes moldadas a partir de lascas e fibra de madeira; aglomeração de areia de fundição; aglomeração de raspa de borracha, para fabricação de placas e pisos elastoméricos, etc.

Materiais contendo lignocelulose, como a madeira, possuem átomos de hidrogênio reativos, que podem formar ligações químicas com os grupos NCO. A força dessas ligações é responsável pela alta qualidade dos painéis aglomerados com isocianatos, além disso, a reação do NCO com a água desempenha um papel importante no processo de aglomeração, pois, os

tipos de MDI poliméricos, com viscosidade e funcionalidade menores, são os produtos normalmente empregados e podem ser manuseados dentro das normas de segurança e higiene industrial.

Painéis e partes moldadas a partir de folhas de madeira, raspas e fibras têm grande utilização na indústria de moveis, construção civil, embalagens e automotiva. São produzidos sobre pressão e calor com a utilização de adesivos baseados em resinas sintéticas.

Na fabricação de painéis aglomerados e partes moldadas são usadas resinas aquosas obtidas por condensação, como as resinas uréicas (uréia/formaldeído), melamínicas (melamina/formaldeído), e fenólicas (fenol/formaldeído), e os ligantes à base de isocianatos que oferecem vantagens em termos de propriedades e processamento.

Na confecção de aglomerados de madeira, são utilizados dois processos. No primeiro processo, utiliza-se MDI polimérico de baixa viscosidade e baixa pressão de vapor na temperatura ambiente. O MDI é aplicado por spray às raspas de madeira dentro do um misturador. As emulsões aquosas de agentes para a cobertura de superfície porosa ou, de parafina para impermeabilização devem ser pulverizadas separadamente.

No segundo processo utiliza-se MDI disperso em água sem o uso de emulsificantes. O MDI utilizado é estabilizado com alto teor de acidez, reage lentamente com água, e cerca de 90% do grupo NCO permanece sem reagir após 2 horas de emulsão processada nos equipamentos convencionais empregados para as resinas aquosas à base de metilol. Como a reação do MDI com a água é catalisada por produtos alcalinos, a presença de resíduos alcalinos da resina fenólica ou a alcalinidade dos compostos melamínicos podem causar a prematura reação do MDI com a água, e as resinas uréia/formaldeído que têm pH em torno de 7 e emulsões de ceras são mais compatíveis com as emulsões aquosas de MDI.

2.3.3. POLIURETANA (PU) MONO-COMPONENTE

A PU mono-componente se constitui de um pré-polímero que cura por reação com a umidade do ar, nestes casos, o excesso do poliisocianato, a natureza e a funcionalidade das matérias-primas, devem ser balanceados de forma que as ligações resultantes tenham força, resistência, elasticidade satisfatória e que a estabilidade do adesivo seja preservada durante a estocagem. Estes adesivos normalmente necessitam de pelo menos 40% de umidade relativa do ar para que se processe a cura.

Estudos em veículos com vidros colados com adesivo mono-componente demonstram que as áreas dos vidros funcionam efetivamente como painéis de tensão em conjunto com toda a estrutura, desta maneira contribuem significativamente para a rigidez estrutural do veículo, com vantagens como economia de materiais e redução de peso. Os sistemas de colagem direta de vidros automotivos têm impacto positivo no conforto durante as viagens.

Os adesivos selantes elásticos reduzem as frequências naturais e as vibrações em carrocerias de veículos, nas janelas laterais de trens, produzem uma enorme redução de vibrações e ruídos. Na construção civil, os adesivos selantes mono-componente, curados com a umidade do ar e na temperatura ambiente, são aplicados em juntas com movimentos severos em metais, vidro, cerâmica, madeira, plástico, concreto e alvenaria.

2.3.4. SISTEMAS PU COM CURA PELA UMIDADE DO AR

Estes sistemas são constituídos de pré-polímeros com terminação isocianato que secam e endurecem, ou seja, curam à temperatura ambiente por reação com a umidade do ar, conforme apresentado na Figura 2.7.

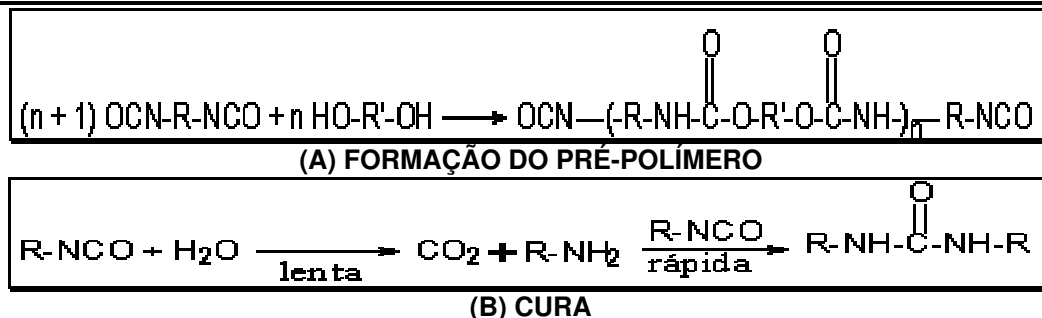


Figura 2.7 – Sistema PU com cura pela umidade do ar
Fonte: VILAR (2002)

Os pré-polímeros com teores de NCO livre de 3 a 16% são fabricados pela reação de um polioli e um diisocianato (MDI, TDI, HDI ou IPDI) ou poliisocianato (MDI-polimérico) e são estocados à temperatura ambiente, sob atmosfera seca. No processo de cura, com reação NCO/água são formadas poliuretanas e poliuréias de alto peso molecular e excelente propriedades mecânicas, todavia, o desprendimento de gás carbônico pode acarretar bolhas em revestimentos espessos.

2.4. POLIURETANA (PU) MONO-COMPONENTE DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA COM CURA PELA UMIDADE DO AR

A tecnologia de PU com óleos vegetais foi desenvolvida há muito tempo em decorrência do incentivo para utilização de um produto a partir de matéria-prima renovável, de fácil obtenção, ecologicamente correta e de excelente qualidade. Entretanto, para produção da matéria prima, há necessidade de grandes áreas agricultáveis, representando um obstáculo para alguns países, que para o Brasil pode representar efetivamente mais uma alternativa para a solução da crise em que o país se encontra.

Recentemente, o Instituto de Química de São Carlos (IQSC) da Universidade de São Paulo (USP) deu início a um estudo para desenvolvimento de PU mono componente derivado do óleo de mamona com cura pela umidade do ar. Os estudos foram realizados objetivando-se sintetizar um verniz para aplicação em pintura automotiva.

Segundo CARLO (2002), dentre os reagentes utilizados para síntese de PU mono-componente à base de óleo de mamona com cura pela umidade do ar, destaca-se principalmente um poliol proveniente do óleo de mamona e o toluol diisocianato (TDI). O óleo de mamona é uma triglicéride do ácido ricinolêico (12-Hidroxi-olêico) onde: 90% se constituem de ácido ricinolêico e 10% estão presentes na forma de ácidos não hidroxilados (olêico e linolêico). Podem ser encontradas, em alguns óleos industriais pequenas quantidades de ácido esteárico e hidroxi-esteárico.

A Figura 2.8 apresenta a estrutura do óleo de mamona com os principais sítios de transformação (incluindo-se a síntese de sistemas PU) como insumo industrial.

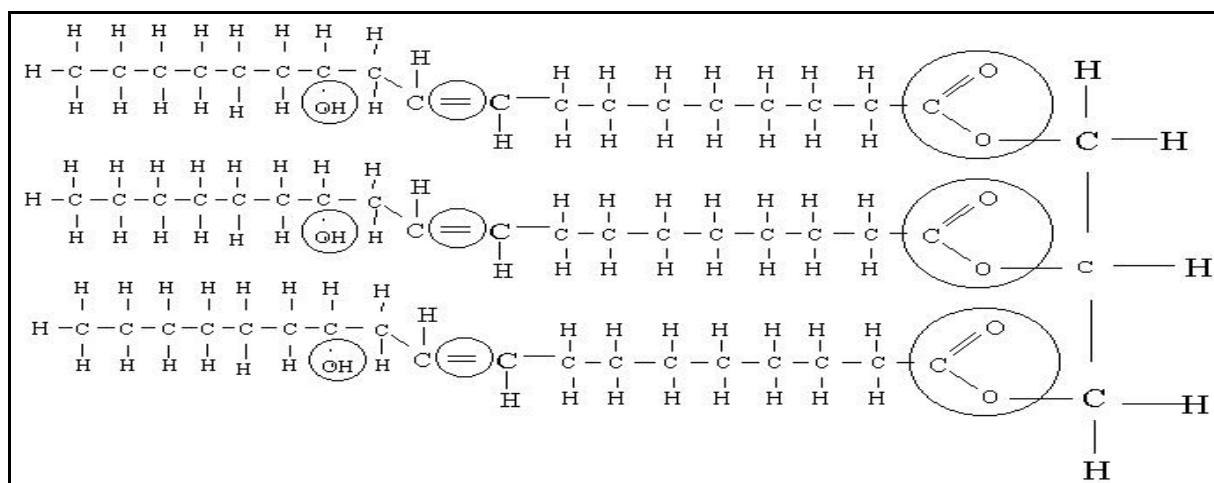


Figura 2.8 - Estrutura do óleo de mamona e seus sítios ativos de transformação

Fonte: VILAR (2002)

A tabela 2.7 apresenta uma listagem dos constituintes do óleo de mamona.

Tabela 2.7 - Composição química do óleo de mamona.

Componentes	(%) p/p
Ácido ricinolêico (ácido 12 – hidróxi – olêico)	89,4
Ácido dihidroxi-esteárico	0,70
Ácido palmítico	1,00
Ácido esteárico	1,00
Ácido olêico	3,00
Ácido linolêico	4,20
Ácido linolênico	0,30
Ácido eicosanóico	0,30

Fonte: VILAR 2002

CARLO (2002) descreve que a síntese da PU mono-componente à base de óleo de mamona com cura pela umidade do ar foi processada com auxílio de um reator carregado com óleo de mamona e um antioxidante para manter a mistura sem alterar a cor devida oxidação ou polimerização oxidativa do óleo vegetal. Simultaneamente adicionaram-se 30 % de solventes (xileno e acetato de etil glicol) em proporções balanceadas, considerando-se o volume da mistura. O processo foi mantido sob atmosfera de gás inerte, com controle térmico e um procedimento adequado para adição de reagentes até total dissolução.

Devido a forte exotermia durante a síntese, o procedimento para adicionar o toluol diisocianato (TDI) foi realizado resfriando-se a mistura e mantendo-se a temperatura em seu limite superior característico, durante um período de oito horas até a reação ser concluída. Em seguida, resfriou-se a mistura mantendo-se em temperatura mais baixa por mais algumas horas.

Conforme avaliações realizadas nas propriedades relativas à aparência, a cor, a solubilidade em solventes, a viscosidade, ao teor de sólidos e a eficiência da adesividade, segundo **CARLO (2002)**, a PU mono-componente derivado do óleo de mamona com cura pela umidade do ar pode ser considerado um produto de fácil aplicação permanecendo estável ao ser aplicado. Outro aspecto importante está relacionado à estocagem do produto, pois devido à cura pela umidade do ar, o produto deve ser armazenado em ambiente fechado e seco, sob estas condições possibilitando até sete meses de estocagem.

CARLO (2002) avaliou a dureza da PU em amostras com adição de catalisador e amostras sem adição de catalisador. Os resultados dos testes possibilitaram concluir que os valores de dureza das amostras com adição de catalisador foram maiores que das amostras sem catalisador, esta diferença pode ser explicada pelo fato de que a ação do catalisador durante a cura propicia maior grau de reticulação do polímero e conseqüentemente maior grau de entrecruzamento intermolecular, conferindo maior resistência mecânica a PU mono-componente derivado do óleo de mamona com cura pela umidade do ar.

Nas análises de termo-degradação **CARLO (2002)**, pode concluir que, sob condições de calor, a temperatura de decomposição da PU mono-componente derivado de óleo de mamona

com cura pela umidade do ar inicia em torno de 190 °C, com uma temperatura de transição vítrea de 63 °C.

A toxidez da PU é outra informação muito importante fornecida por **CARLO (2002)**, pois, avaliações cromatográficas determinaram teores de TDI iguais a 0,6 %, classificando o produto como “*nocivo à saúde do aplicador*”. Entretanto, os baixos teores de NCO contidos no TDI, classificam a PU como sendo “*não tóxico*”.

A facilidade de interação entre o IQSC e o Laboratório de Madeiras e Estrutura de Madeiras (LaMEM) do SET/EESC, possibilitou a solicitação de amostras de PU mono-componente derivado do óleo de mamona com cura pela umidade do ar, objetivando-se impregnar amostras de madeiras para melhorar suas propriedades de resistência à umidade e resistência mecânica. Em decorrência desses estudos foram elaboradas novas sínteses do referida PU, ajustando-se sua viscosidade e seu tempo de cura. Estes estudos resultaram em um PU com características adequadas para utilização como adesivo na confecção de chapas de fibra.

Outro estudo desenvolvido no LaMEM do SET/EESC foi à utilização de um PU bi-componente derivado do óleo de mamona para produção de madeira laminada colada. Segundo **AZAMBUJA (2002)**, após algumas análises realizadas, foi possível concluir que a viscosidade e o tempo de cura da PU utilizado não viabilizam a produção de madeira laminada colada.

2.5. ASPECTOS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ULTRA-SOM

2.5.1. DETERMINAÇÃO DE CONSTANTES ELÁSTICAS

Segundo **JAYNE (1959)** citado por **ROSS e PELLERIN (1994)**, as propriedades de armazenamento e dissipação de energia, na utilização de métodos não-destrutivos em determinado material, são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam os comportamentos estáticos desse material. Como consequência, relações matemáticas entre

essas propriedades e o comportamento estático, de rigidez e de resistência, podem ser alcançadas através da análise estatística de regressão.

Desde então, vários autores vêm estudando o método de ultra-som na determinação de constantes elásticas da madeira, como, por exemplo, **BUCUR (1984)**, que propôs a base teórica de utilização do ultra-som para determinação das constantes elásticas da madeira, através de “*carottes de sondage*” (pequenos corpos-de-prova cilíndricos).

Em análises comparativas entre os módulos de elasticidades dinâmicos e estáticos, feitas por **CHUDNOFF et al.**, citados por **HERZIG (1992)**, utilizando corpos-de-prova provenientes de postes de 26 espécies de madeiras diferentes, entre coníferas e dicotiledôneas, com teores de umidade variando entre 35 a 95 %, foi observado que na média, o módulo dinâmico foi 39,2 % superior ao módulo estático para as coníferas e 57% superior para as dicotiledôneas.

BARTHOLOMEU, GONÇALVES E HERNÁNDEZ (1998) estudaram as correlações entre o módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos à compressão paralela as fibras em corpos-de-prova das espécies Angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa*), Peroba-rosa (*Aspidosperma polineuron*) e Pinus elliottii (*Pinus elliottii*) na condição seca ao ar , utilizando equipamento de ultra-som não industrial operando na frequência de 1 MHz. O Equipamento apresentado foi montado em laboratório pela equipe de pesquisadores e os resultados foram compatíveis aos obtidos por outros pesquisadores utilizando equipamentos industriais.

GONÇALVES e BARTHOLOMEU (2000) estudaram as correlações entre módulos de elasticidade dinâmicos e à flexão estática por 04 pontos em vigas de dimensões estruturais na condição saturada das espécies Eucalipto Citriodora e Pinus elliotti, utilizando um equipamento de ultra-som de frequência de 45 kHz. Para as espécies estudadas o autor obteve correlações significativas. Para a condição saturada a correlação entre a velocidade na viga (V_v) e o Módulo de Elasticidade à flexão (MOE), os coeficientes de determinação variaram de 0,8 a 0,86. Para a correlação entre a constante dinâmica na viga (C_v) e o MOE os coeficientes de determinação variaram de 0,85 a 0,88. O autor conclui que o método mostrou-se eficiente como classificador de vigas de dimensões estruturais, tanto na condição saturada como na condição seca ao ar. Em virtude de apresentar-se como um método seguro, econômico e

rápido, ele pode ser utilizado como uma boa alternativa aos métodos tradicionais de classificação. Além disso seus resultados permitiram a proposição de tabelas de classificação de rigidez de peças estruturais de madeira em função da velocidade de propagação das ondas longitudinais de ultra-som na peça saturada.

OLIVEIRA (2001) estudou as correlações entre os módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos à compressão paralela e à flexão, e também as correlações entre o módulo de elasticidade dinâmico e as tensões de ruptura (**MOR**) e f_{co} em corpos-de-prova e vigas de dimensões estruturais. As espécies analisadas foram Cupiúba, Eucalipto Grandis, Jatobá e Eucalipto Citriodora com teor de umidade de 12%. Para este trabalho a autora utilizou, para os corpos-de-prova equipamento de ultra-som operando a uma frequência de 45 kHz. Os autores obtiveram coeficientes de determinação de 0,80 para a correlação entre Constante Dinâmica e Módulo de Elasticidade à flexão estática indicando a possibilidade de utilização do método na classificação da madeira.

Segundo **BARTHOLOMEU (2001)**, em várias partes do mundo tem se relatado o emprego do ultra-som tanto em avaliações da qualidade de peças industrializadas, quanto em determinações de propriedades físicas e mecânicas, seja na madeira serrada, em produtos à base de madeira ou ainda em árvores em pé.

Alem da facilidade de manuseio dos equipamentos de ultra-som, seu custo não é excessivo e mundialmente o interesse pelo uso de ensaios não-destrutivos tem sido incentivado devido à necessidade de preservação ambiental.

2.5. 2. FATORES QUE AFETAM A AS ONDAS ULTRA-SÔNICAS

Conforme descrito por (**HERZIG, 1992**), a dimensão do corpo-de-prova é uma variável que afeta a propagação das ondas ultra-sônicas na madeira. Essa influência ocorre devido às equações gerais que regem a propagação de ondas em meio sólido. Essas equações partem do princípio ideal de que o comprimento da onda é muito superior às dimensões da seção transversal do corpo-de-prova pelo qual essa onda atravessa.

HERZIG (1992), utilizando frequências de 1 e 5 MHz, em corpos-de-prova da espécie Épinette com seções transversais de 0,005; 0,01; 0,015; 0,025; 0,05; 0,075 e 0,100 m determinaram que até um comprimento de 0,05 m e frequência de 5 MHz, as velocidades foram inferiores àquelas obtidas na frequência de 1 MHz e concluiu que este fato é decorrente do fenômeno de atenuação das ondas ultra-sônicas, que perturba as transmissões dos sinais e provoca uma diminuição da velocidade. Verificou também que em corpos-de-prova cilíndricos com 0,005 m de diâmetro ocorre um aumento da velocidade com o aumento da frequência.

SAKAL et al., citado por **BUCUR (1995)**, descreve que da mesma forma que o teor de umidade afeta as propriedades mecânicas da madeira nos ensaios estáticos, ele o faz nas propriedades mecânicas via ensaios dinâmicos. A velocidade de propagação da onda ultra-sônica decresce consideravelmente com o aumento do teor de umidade do corpo-de-prova, até o ponto de saturação das fibras.

Em estudos desenvolvidos por **MISHIRO (1996)**, para verificação dos efeitos da densidade na velocidade longitudinal de ondas ultra-sônicas, observou que em alguns casos, as velocidades aumentaram ou diminuíram com o aumento da densidade aparente e em outros casos, as velocidades eram independentes da densidade. Conseqüentemente concluiu que, o fenômeno de transferência de energia por meio de uma onda ultra-sônica está mais associado à estrutura celular da madeira do que à sua densidade aparente.

Segundo **BARTHOLOMEU, GONÇALVES E BUCUR (2003)**, a velocidade da onda de ultra-som não é afetada pela frequência a partir de uma relação $L/\lambda > 5$, onde L é o comprimento do corpo-de-prova e λ é o comprimento de onda ultra-sônica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. PROCEDIMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA CONFECCÃO DAS CHAPAS MDF

O processamento e a qualidade das fibras é um fator importante para a produção das chapas MDF. A forma das fibras é resultante da combinação de variáveis como as espécies utilizadas e suas misturas; cavacos provenientes diretamente de pequenas toras ou de resíduos, parâmetros de desfibramento (tempo de aquecimento, pressão do vapor aplicado, configuração dos seguimentos dos discos e distância entre os pratos do desfibrador). Estes parâmetros são responsáveis pela produção de fibras com dimensões uniformes e que propiciam a produção de chapas homogêneas.

Neste trabalho, as chapas de fibras com PU, foram confeccionadas com fibras produzidas na DURATEX, objetivando-se obter a mesma qualidade das chapas MDF produzidas pela empresa.

Os principais materiais e equipamentos utilizados para confecção e avaliação das chapas de fibras do tipo MDF foram:

- Fibras de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*, conforme se observa nas figura 3.1 e 3.2.



Figura 3.1 – Fotografia das fibras de *Pinus caribaea* utilizadas na confecção das chapas



Figura 3.2 – Fotografia das fibras de *Eucalyptus grandis* utilizadas na confecção das chapas

O tamanho das fibras é uma característica importante que influencia no processo de fabricação dos MDF, pois fibras com maior comprimento possibilitam maior área de contato com a PU. Na figura 3.1 pode ser observado que as fibras de *Pinus caribaea*, por serem maiores, formam grumos maiores que as fibras de *Eucalyptus grandis*.

Na figura 3.3, observa-se uma fotografia microscópica das fibras de *Pinus caribaea* obtidas por meio de desfibramento termomecânico e submetidas a processo de secagem para adição de PU.



Figura 3.3 – Fotografia microscópica das fibras de *Pinus caribaea* utilizadas na confecção das chapas

As figuras 3.4 e 3.5 ilustram fotografias microscópicas da chapa confeccionada com fibras de *Pinus caribaea*.

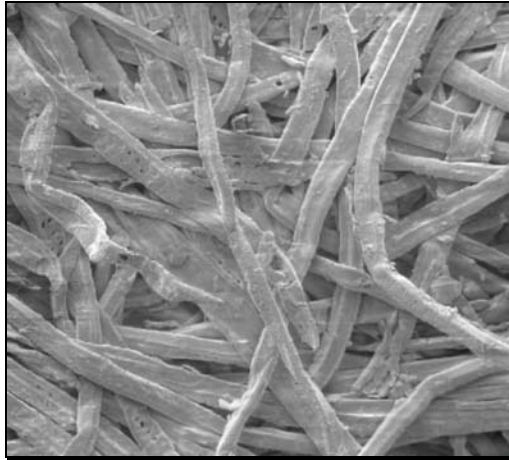


Figura 3.4 - Fotografia microscópica da superfície da chapa de fibra.

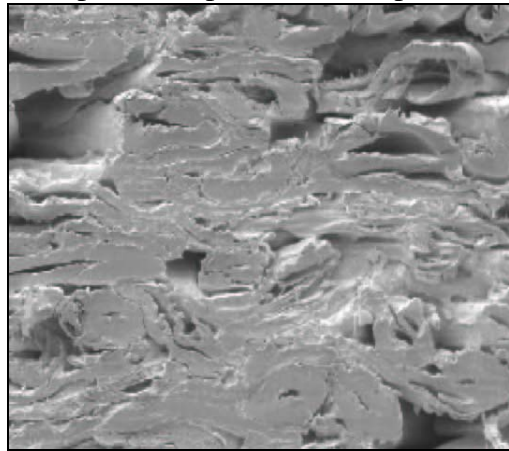


Figura 3.5 - Fotografia microscópica de um corte na espessura da chapa de fibra.

Na figura 3.6 observa-se uma amostra da poliuretana utilizada na pesquisa.

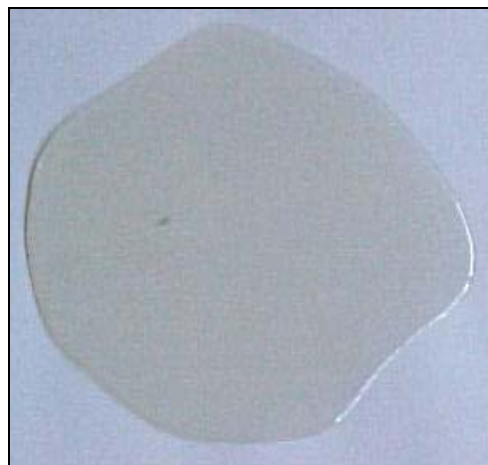


Figura 3.6 – Aspectos gerais da poliuretana mono-componente derivado do óleo de mamona utilizado na confecção das chapas de fibra.

As figuras 3.7 a 3.11 ilustram os equipamentos para confecção das chapas de fibra utilizados pela Empresa DURATEX.



Figura 3.7 - Medidor de umidade das fibras.

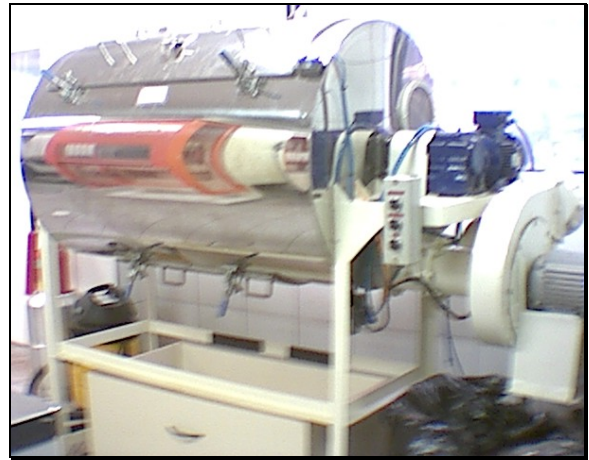


Figura 3.8 - Encoladeira de tambor.



Figura 3.9 - Formadora de colchão.



Figura 3.10 - Pré-prensa



Figura 3.11 - Aspectos gerais da prensa para confecção das chapas com controle de temperatura e pressão

As figuras 3.12 a 3.14 ilustram os equipamentos para caracterizações física e mecânica das chapas de fibra utilizados pela Empresa DURATEX.



Figura 3.12 - Equipamento para medir os corpos-de-prova

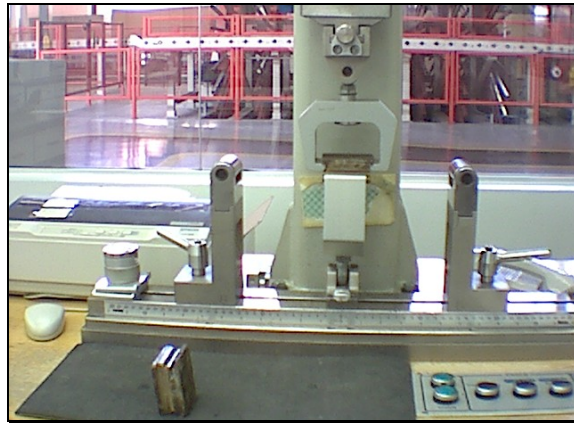


Figura 3.13 - Máquina de ensaios mecânicos.

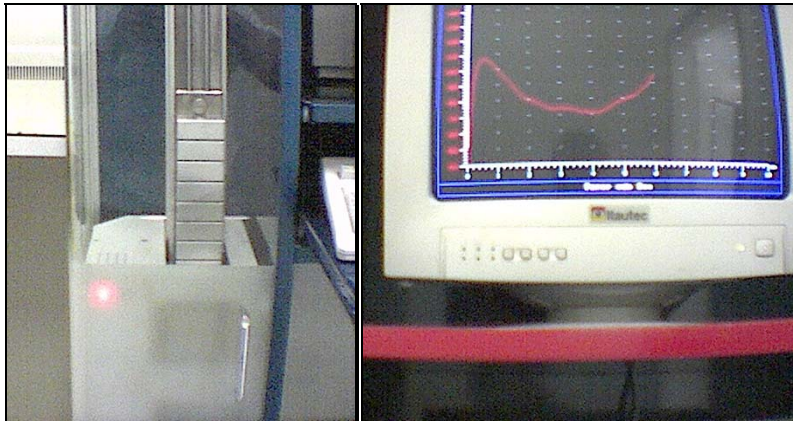


Figura 3.14 - Equipamento para determinação do perfil de densidade das chapas

Os equipamentos apresentados estão conectados a um microcomputador, com interface para aquisição e armazenagem dos dados.

- Lap top da marca COMPAC PRESARIO modelo Pentium III e Software MINITAB-R13.

- Equipamento de Ultra-som da marca Steinkamp modelo BP7 com transdutores de faces exponenciais e planas de 45 kHz, ilustrado na figura 3.15.

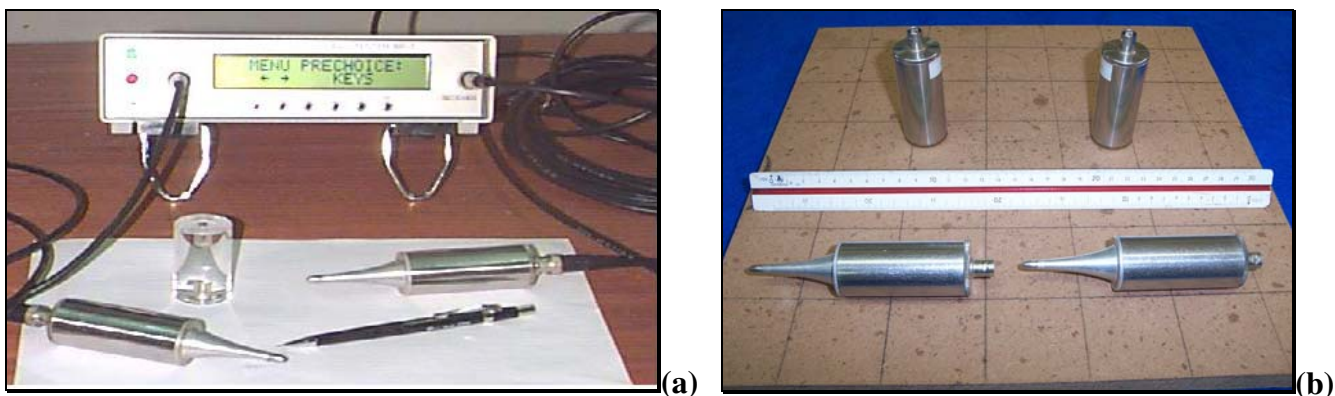


Figura 3.15 - Equipamento de ultra-som (a) e transdutores de faces exponenciais e plana (b).

3.2. DEFINIÇÃO DO TEOR DE POLIURETANA (PU).

A PU utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos (IQSC), e se constitui de um pré-polímero sintetizado a partir do óleo de mamona e de toluol diisocianato (TDI).

O cálculo do teor de PU está diretamente relacionado com as proporções de sólidos e solventes que compõem a mistura. No caso deste trabalho foram avaliadas duas composições: a primeira sintetizada com 30 % de sólidos e 70 % de solventes (PU3070) e a segunda, sintetizada com 70 % de sólidos e 30 % de solventes (PU7030). As proporções avaliadas influenciaram diretamente nas resistências das chapas de fibra.

Para análise dos teores de PU considerou-se a avaliação das condições experimentais conforme apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Planejamento experimental para confecção das chapas.

CE		Madeira	PU (%)	Pressão (bar)	Temperatura (°C)	E (mm)	Umidade (%)	δ (g/cm³)						
Fase I	1	P	5	40	190	7	9	0,75						
	2		10											
Fase II	1	P	3	40	190	7	9	0,75						
	2		5											
	3		8				6							
	4		5											
	5	E	5			15			12					
	6						9							
	7						P			160	7			
	8													
Fase III	1	P	5	53	160	15	12	0,75						
	2		3		190	8								
	3		5		160	8								
	4	E							190	8				
	5										3			
	6		5		160	8								

P = *Pinus caribaea* E = *Eucalyptus grandis*

Na fase I foram realizados ensaios para avaliação da PU3070. Entretanto, a forte exalação de solventes, durante a confecção das chapas, inviabilizou a utilização dessa proporção, havendo necessidade de se elaborar uma nova síntese, proposta para as fases seguintes.

Na fase II foi avaliada a síntese do PU7030 para verificação do teor adequado de PU de acordo com as condições experimentais apresentadas na Tabela 3.1, que combinam as variáveis do processo para confecção das chapas em laboratório. Os resultados obtidos nesta fase indicaram à necessidade de se aumentar a pressão de prensagem (> 40bar) para possibilitar melhor compactação das chapas.

Na fase III foi novamente avaliado o PU7030. Entretanto, com algumas modificações das variáveis apresentadas na Tabela 3.1. Os resultados obtidos propiciaram as melhores características às chapas MDF.

De acordo com o manual de procedimentos de ensaios elaborado pela EMB devem ser consideradas no mínimo:

- Seis (6) amostras para ensaios de flexão estática.
- Três (3) para ensaios de tração perpendicular.
- Três (3) para ensaio de tração superficial.
- Três (3) amostras para ensaio de perfil de densidade.
- Três (3) para ensaio de inchamento após 24 horas.

3.3. PREPARAÇÃO DAS CHAPAS MDF

3.3.1. APLICAÇÃO DE PU ÀS FIBRAS

A aplicação da poliuretana às fibras foi realizada utilizando-se uma pistola de pressão para pintura automotiva instalada a um cilindro metálico denominado “encoladeira de tambor” (figura 3.7) que possui em seu interior um eixo com pás que misturam as fibras no momento em que estão sendo pulverizadas.

Devido ao processo de pulverização ocorreram grumos (pequenas bolas de fibras) que foram desagregados manualmente para preparação do colchão de fibras.

Para confecção das chapas definiu-se, inicialmente, a densidade que se desejava atingir e de posse desse dado, calculou-se a massa de fibra com PU em função do volume de cada chapa.

3.3.2. FORMAÇÃO DO COLCHÃO DE FIBRAS

Esse procedimento constitui-se em formar um volume de fibras que dará origem à forma final das chapas. O processo foi realizado com auxílio de uma formadora de colchão (figura 3.8), que é uma caixa de alumínio de base quadrada, sem fundo e sem tampa, com dimensões aproximadas de 40 cm de largura, 40 cm de comprimento e 80 cm de altura.

O procedimento se constitui em depositar as fibras “encoladas” no interior da formadora de colchão para facilitar o manuseio do colchão de fibras e sua pré-prensagem.

3.3.3. PRÉ-PRENSAGEM E CICLO DE PRENSAGEM

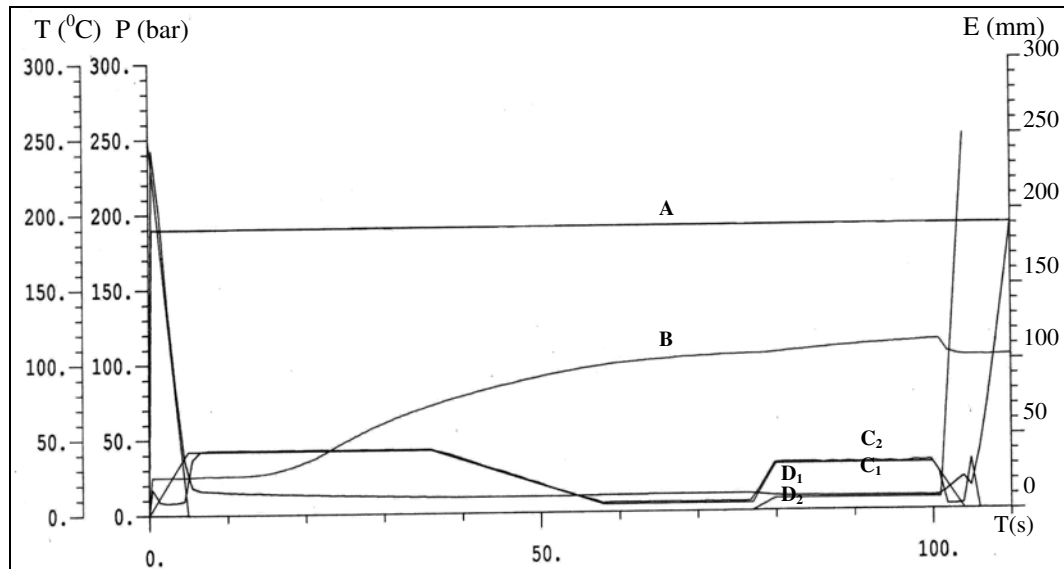
A etapa final para confecção das chapas iniciou com a prensagem a frio do colchão de fibras. As fibras distribuídas manualmente no interior da formadora de colchão foram submetidas a uma compactação a frio de aproximadamente 70 kg, objetivando-se diminuir a espessura do colchão de fibras para possibilitar seu encaixe entre os pratos da prensa com controle de temperatura e pressão e dar início ao ciclo de prensagem para confecção final das chapas.

O ciclo de prensagem tem como objetivo propiciar condições favoráveis para compactação das chapas de fibra, ou seja, fornecer condições adequadas para formação das chapas por meio da interação das variáveis inerentes ao processo: cura da PU, pressão e temperatura de prensagem, espessura e densidade da chapa, umidade das fibras e degasagem da chapa. Esse processo simula o processo de produção da prensa contínua aquecida e controlada.

O colchão de fibras foi disposto entre as placas metálicas aquecidas da prensa com controle de temperatura e pressão e a primeira etapa do ciclo iniciou aplicando-se carga de aproximadamente 60 bar durante 50 s. A segunda etapa foi iniciada aliviando-se a pressão até atingir carga de aproximadamente 5 bar, o alívio de pressão ocorreu durante aproximadamente 20 s e este procedimento possibilitou a “degasagem” da chapa. Na terceira e última etapa, foi aplicada uma nova carga de aproximadamente 30 bar durante 30 s para possibilitar o ajuste na espessura da chapa.

As figuras 3.16 a 3.23 apresentam os gráficos do ciclo de prensagem realizado nas chapas das condições experimentais da fase II.

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFECÇÃO DAS CHAPAS



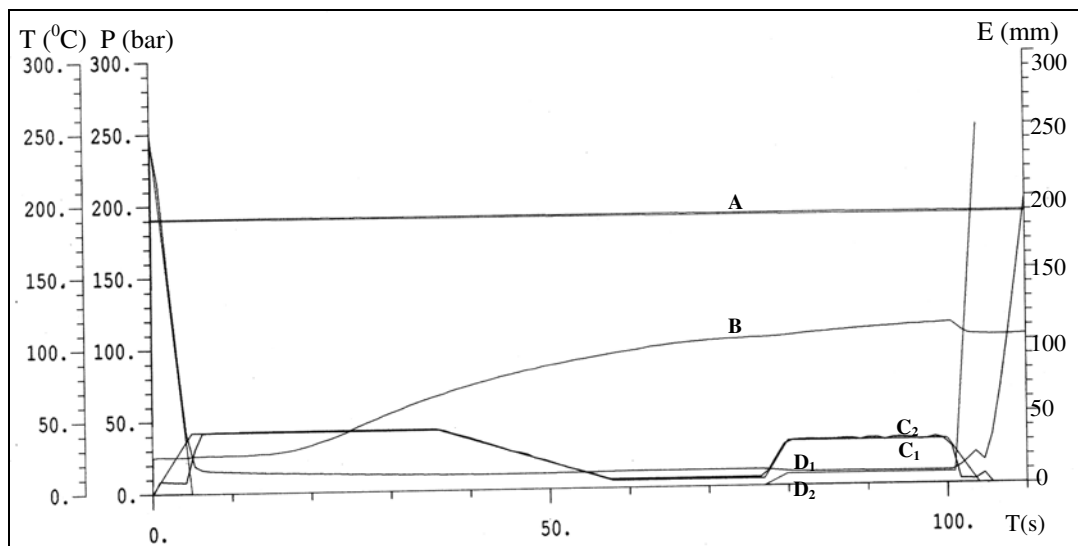
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.16 - Ciclo de prensagem - condição 1

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFECÇÃO DAS CHAPAS



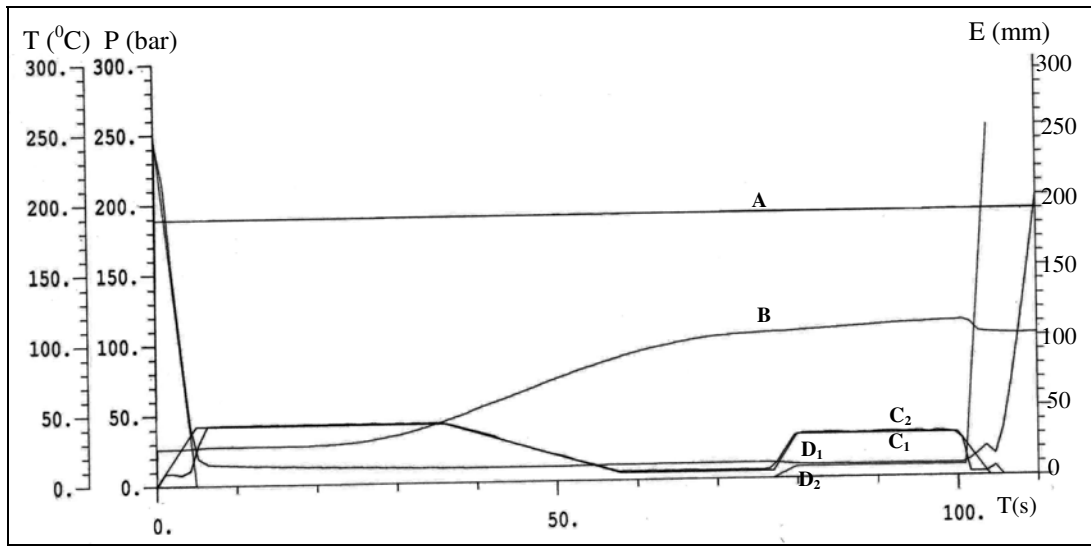
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.17 - Ciclo de prensagem - condição 2.

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFECÇÃO DAS CHAPAS



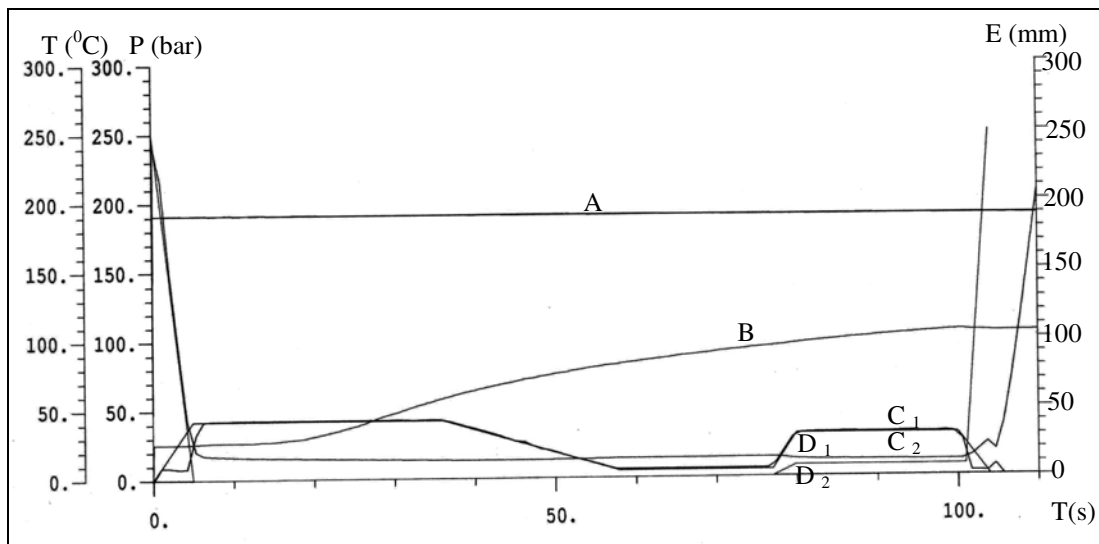
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.18 - Ciclo de prensagem - condição 3

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFECÇÃO DAS CHAPAS



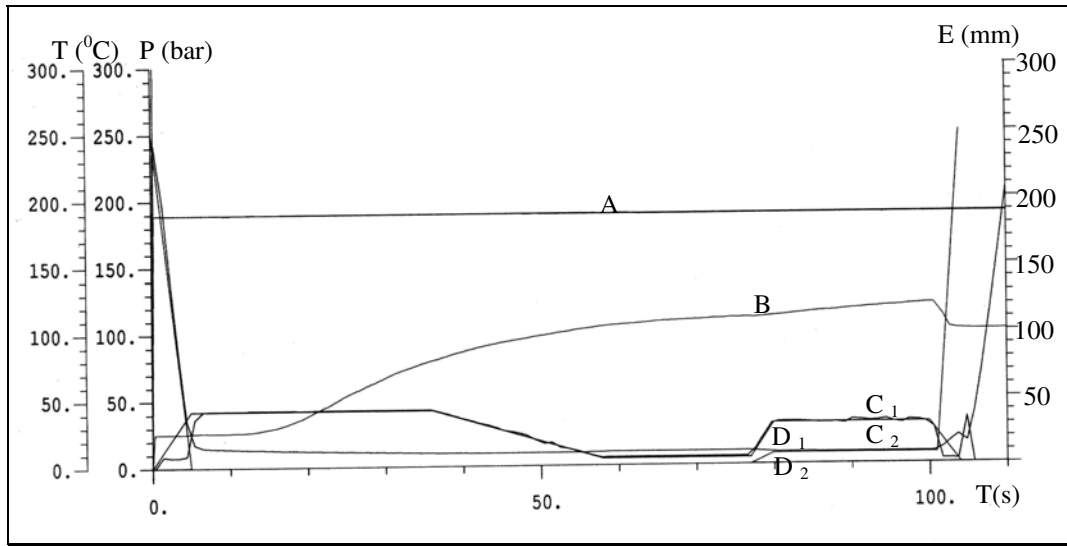
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.19 - Ciclo de prensagem - condição 4

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFEÇÃO DAS CHAPAS



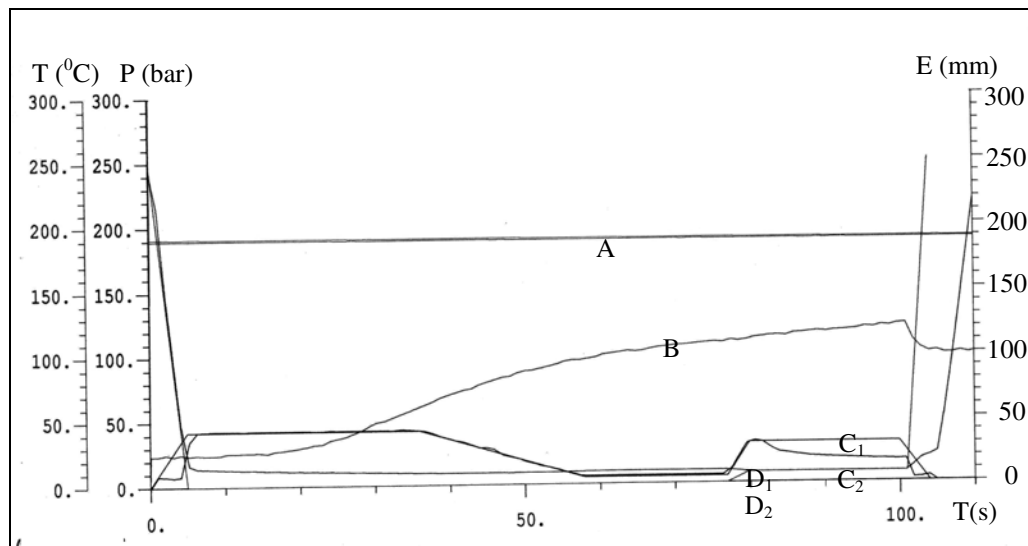
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.20 - Ciclo de prensagem - condição 5

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFEÇÃO DAS CHAPAS



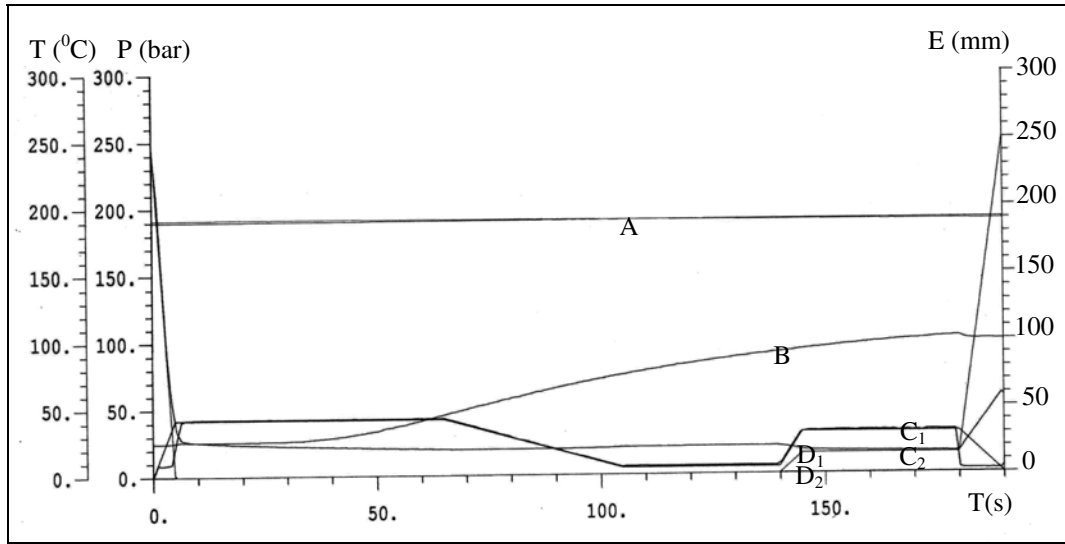
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.21 - Ciclo de prensagem - condição 6

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFEÇÃO DAS CHAPAS



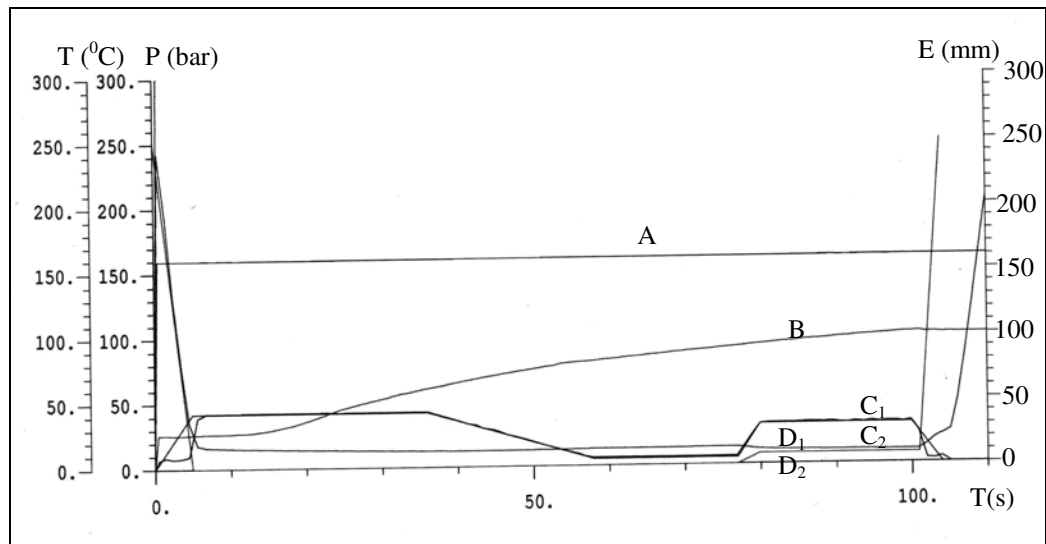
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.22 - Ciclo de prensagem - condição 7

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFEÇÃO DAS CHAPAS



(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

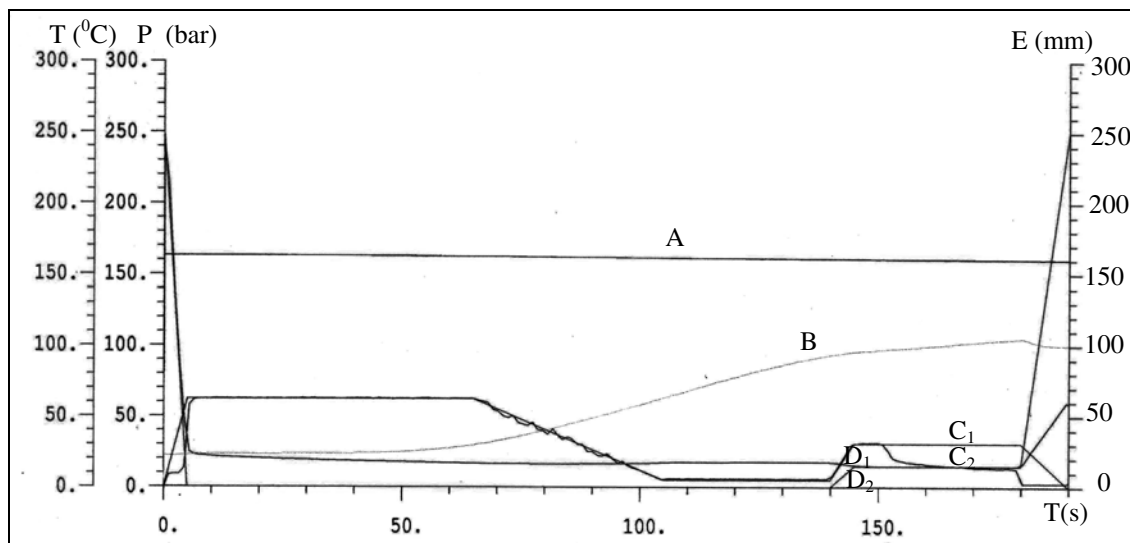
(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.23 - Ciclo de prensagem - condição 8

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

As figuras 3.24 a 3.27 apresentam os gráficos do ciclo de prensagem realizado nas chapas das condições experimentais da fase III.

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFECCÃO DAS CHAPAS



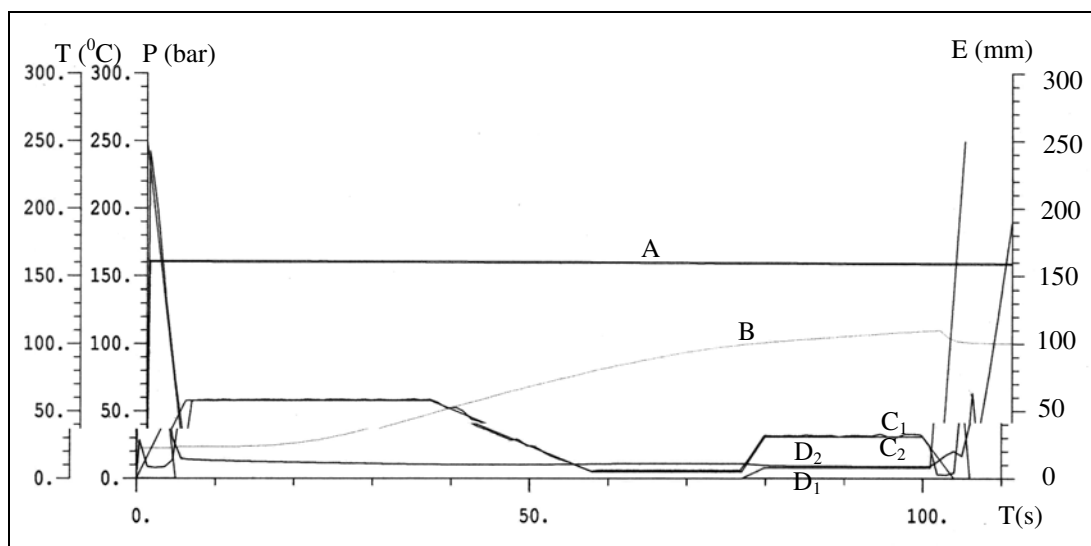
(A) - temperatura da prensa (B) - temperatura no interior da chapa

(C₁) - pressão programada (C₂) - pressão ajustada (D₁) - espessura ajustada (D₂) - espessura programada

Figura 3.24 - Ciclo de prensagem - condição 1

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFECCÃO DAS CHAPAS



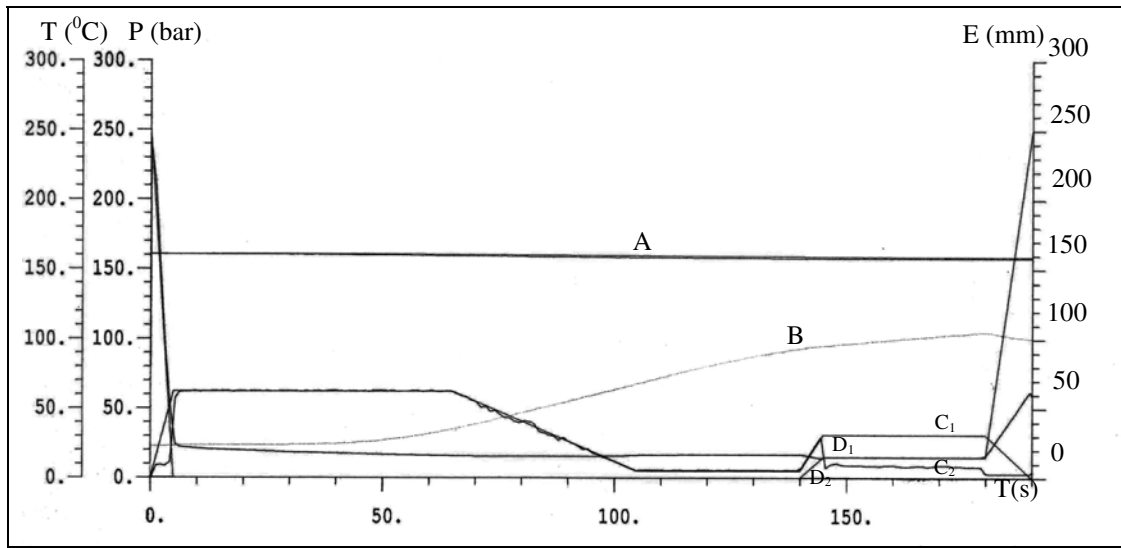
(A) - temperatura da prensa (B) - temperatura no interior da chapa

(C₁) - pressão programada (C₂) - pressão ajustada (D₁) - espessura ajustada (D₂) - espessura programada

Figura 3.25 - Ciclo de prensagem - condição 3

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFEÇÃO DAS CHAPAS



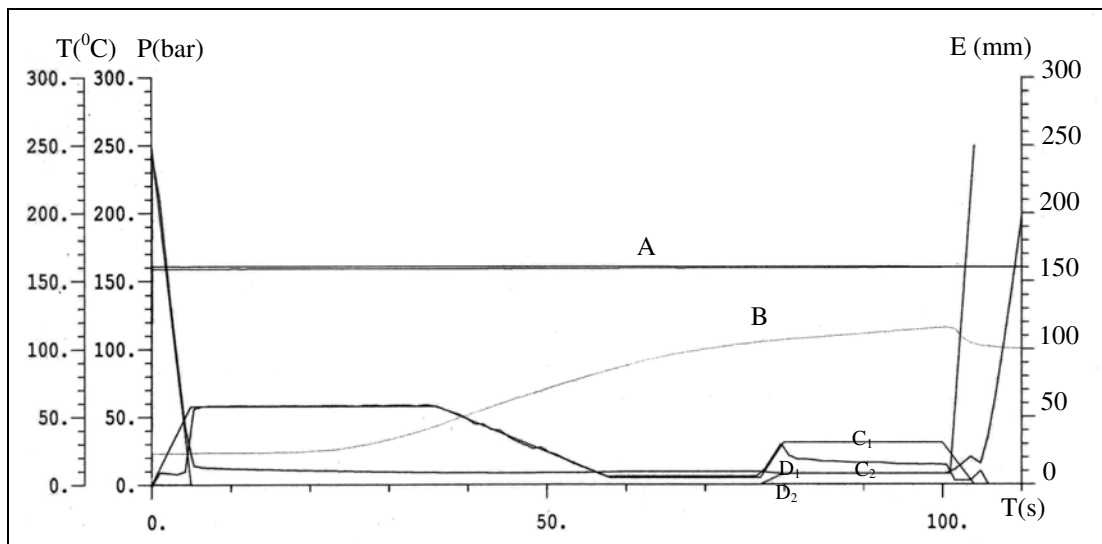
(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.26 - Ciclo de prensagem - condição 4

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

CICLO DE PRENSAGEM PARA CONFEÇÃO DAS CHAPAS



(A) - temperatura da prensa (B) – temperatura no interior da chapa

(C₁) – pressão programada (C₂) – pressão ajustada (D₁) – espessura ajustada (D₂) – espessura programada

Figura 3.27 - Ciclo de Prensagem - condição 6

Fonte: Laboratório de controle de qualidade da DURATEX

Durante todo o ciclo de prensagem foi realizado o monitoramento da temperatura no interior das chapas, por meios de termopares, com o objetivo de se avaliar a temperatura de cura da PU.

3.4. ENSAIOS DESTRUTIVOS

A preparação dos corpos-de-prova para realização dos ensaios destrutivos iniciou com a eliminação das regiões das bordas das chapas, pois devido à preparação manual do colchão de fibras e o processo de prensagem para confecção das chapas, ocorrem regiões de baixas densidades nas bordas das chapas, sendo necessário eliminar aproximadamente 30 mm para minimizar essas deficiências.

A figura 3.28 apresenta um conjunto de fotos, onde se observa uma chapa de fibra confeccionada com dimensões aproximadas de 400 x 400 mm e espessuras variando entre 8 e 15 mm (figura 3.28a). Observam-se também corpos-de-prova para ensaios de flexão estática (figura 3.28b) e corpos-de-prova para ensaios de tração perpendicular, tração superficial, perfil de densidade e inchamento após 24 horas (figura 3.28c).

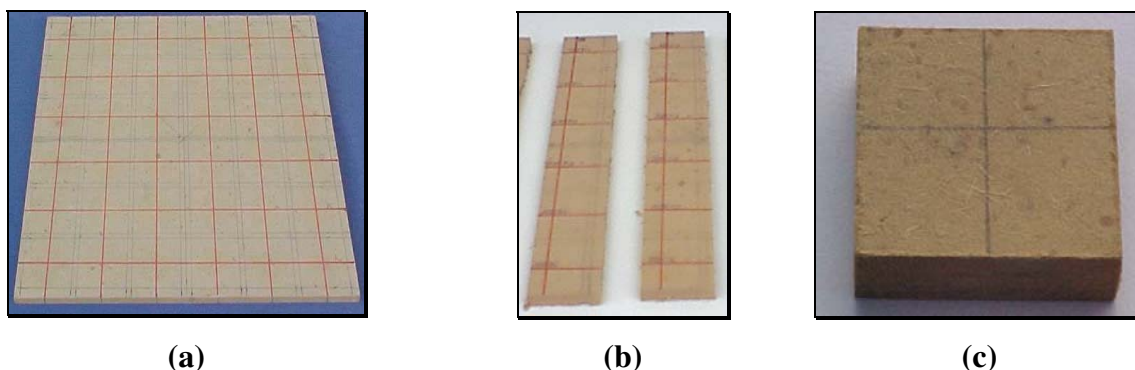


Figura 3.28 - Fotografias ilustrando a sequência para extração e confecção de corpos-de-prova para realização de ensaios físicos e mecânicos.

(a) Chapa de fibra preparada para extração dos corpos-de-prova.

(b) Corpos-de-prova para ensaios de resistência à flexão estática.

(c) Corpo-de-prova para ensaios de resistência à tração perpendicular às fibras, tração superficial, perfil de densidade e inchamento após 24 horas.

Os corpos-de-prova para ensaio de resistência à flexão estática possuem dimensões aproximadas de 350 x 50 mm e suas espessuras variavam entre 8 e 15 mm. Os corpos-de-prova para ensaio de tração perpendicular, tração superficial, perfil de densidade e inchamento após 24 horas possuíam dimensões aproximadas de 50 x 50 mm e suas espessuras variavam entre 8 e 15 mm.

3.4.1. PARÂMETROS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CHAPAS

De acordo com o manual de procedimentos para confecção e caracterização de chapas MDF elaborado pela EuroMDFBoard em 1995. As chapas devem ser avaliadas conforme as propriedades apresentadas na tabela 3.2 que apresentam os valores mínimos propostos pela EMB.

Tabela 3.2 - Propriedades das chapas MDF, procedimentos e valores mínimos propostos pela EuroMDFBoard.

Propriedades		Procedimentos de ensaios	MDF - EMB	
			> 6 a 9 mm	> 12 a 19 mm
MOR	(MPa)	EN310	23	20
MOE		EN310	2700	2200
TP		EN319	0,55	0,55
TS		EN311	1,20	1,20
INC24H	(%)	EN317	17	12
UR		EN318	4 a 11	4 a 11

Fonte: EuroMDFBoard

3.4.2. MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA (MOR)

A figura 3.29 ilustra o ensaio para determinação do módulo de resistência à flexão estática.



Figura 3.29 – Fotografia do ensaio para determinação do módulo de resistência à flexão estática

3.4.3. MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP)

A figura 3.30 ilustra o momento do ensaio para determinação do módulo de resistência a tração perpendicular.



Figura 3.30 – Fotografia do ensaio para determinação do módulo de resistência à tração perpendicular

3.4.4. MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SUPERFICIAL (TS)

A figura 3.31 ilustra o momento do ensaio para determinação do módulo de resistência à tração superficial.



Figura 3.31 – Fotografia do ensaio para determinação do módulo de resistência à tração superficial

3.4.5. INCHAMENTO APÓS 24 HORAS

Neste ensaio foi avaliado o inchamento de amostras submersas durante 24 horas em recipiente com 25 ± 5 mm de água destilada com $\text{pH } 7 \pm 1$ e temperatura de $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Segundo a EMB - EN317 são necessários três (3) corpos-de-prova de 50 x 50 mm de cada chapa para avaliação da resistência ao inchamento.

3.4.6. PERFIL DE DENSIDADE

O ensaio para determinação da densidade realizada pela DURATEX utiliza um equipamento que verifica o perfil da densidade da chapa. Este ensaio tem por objetivo avaliar a variação da densidade na espessura do corpo-de-prova e a empresa ensaia três (3) corpos-de-prova (com dimensões de 50 x 50 mm) da região mais central da chapa. A figura 3.32 ilustra a

fotografia do equipamento para determinação do perfil de densidade no momento da realização do ensaio. Observa-se no monitor, a curva do perfil de densidade de um corpo-de-prova.

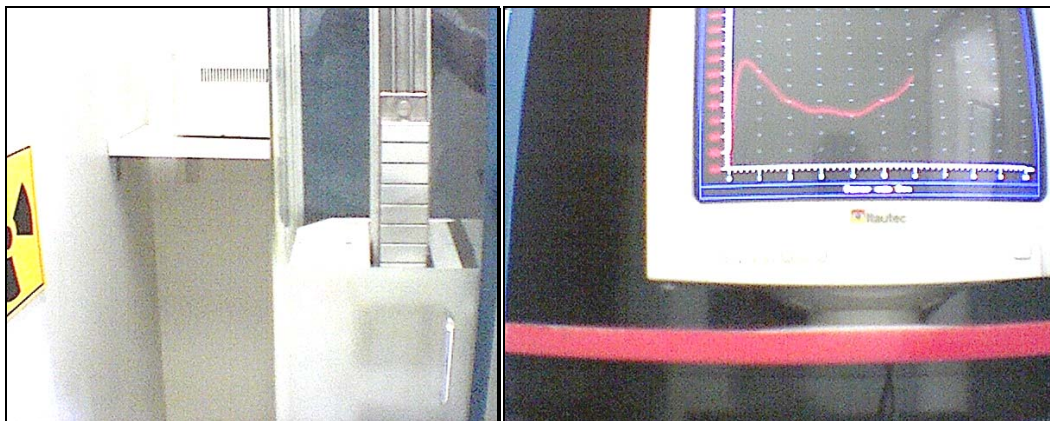


Figura 3.32 - Fotografia do equipamento para determinação da densidade evidenciando a curva do perfil de densidade no momento da realização do ensaio

3.5. ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS.

Os ensaios de ultra-som foram realizados antes da extração dos corpos-de-prova para caracterização das chapas por meio de ensaios destrutivos. Na figura 3.33 observam-se as chapas de *Pinus caribaea* (a) e *Eucalyptus grandis* (b), nestas chapas verifica-se as regiões onde serão realizados os ensaios não destrutivos.

As definições dessas regiões tiveram como objetivo permitir um posterior mapeamento da velocidade de propagação das ondas de ultra-som nas chapas.

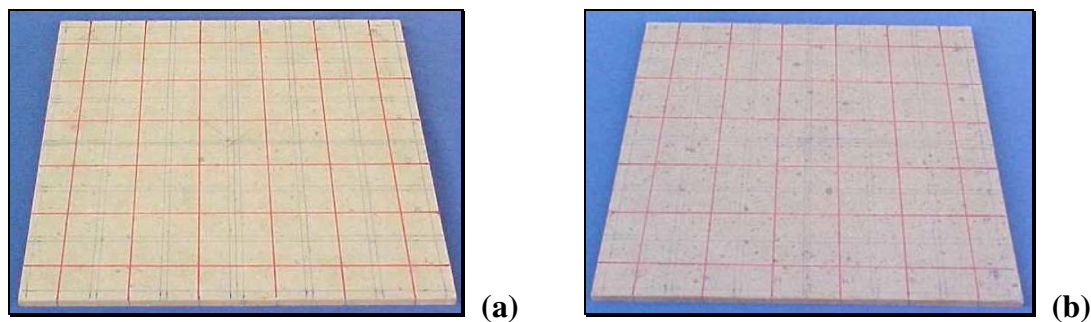


Figura 3.33 - Chapas MDF com fibras de *Pinus caribaea* (a) e *Eucalyptus grandis* (b).

A figura 3.34 apresenta as direções (A, B, C, D, E, F, G) e os sentidos de leituras y , x e z definidos nas chapas para realização de ensaios com transdutores de faces exponenciais e planas.

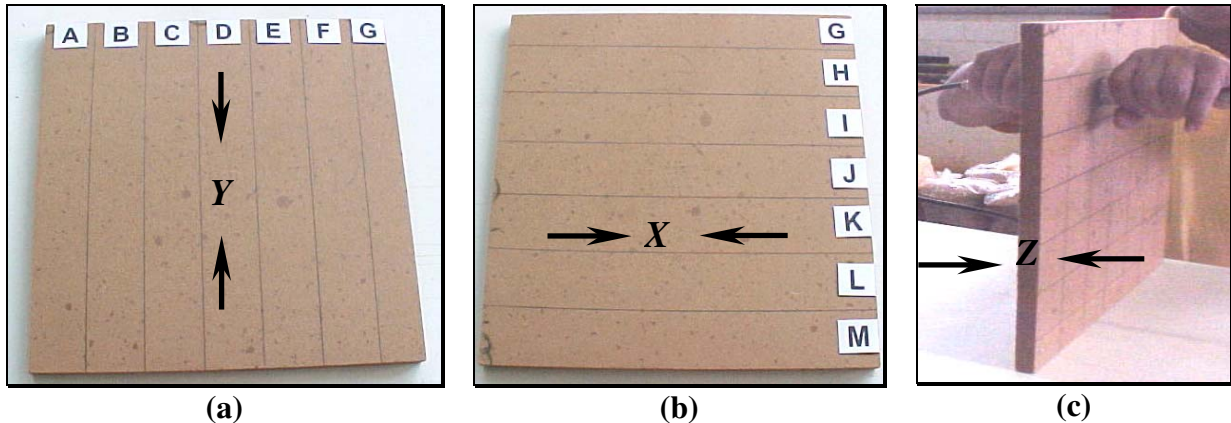


Figura 3.34 - Fotografia das chapas MDF com as direções e os sentidos de leitura para os ensaios não-destrutivos.

A figura 3.35 apresenta as direções representadas pelas letras e as regiões, representadas pelos números, para realização de ensaios com transdutores de faces planas, aplicados na direção z (espessura) da chapa, figura 3.34 c.

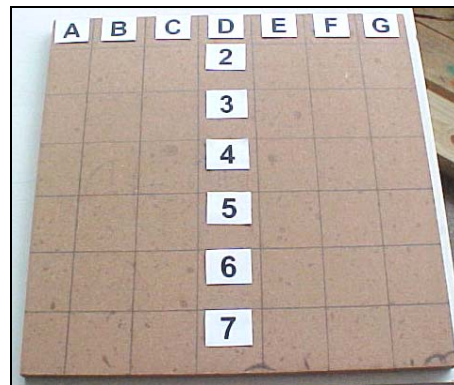


Figura 3.35 - Fotografia da chapa MDF com as direções e regiões para realização de ensaio não-destrutivo.

Os ensaios de ultra-som com transdutores de faces exponenciais foram realizados conforme a figura 3.36. Nessa figura observa-se uma foto ilustrando o posicionamento dos transdutores de faces exponenciais (a) e a provável trajetória de propagação das ondas de compressão produzidas pelos transdutores (b).

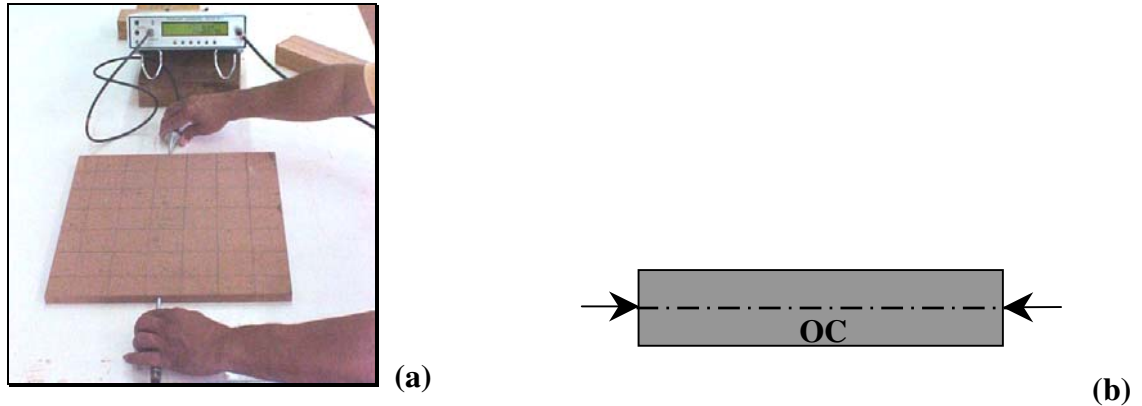


Figura 3.36 - Fotografia do ensaio não-destrutivo com transdutores de faces exponenciais (a) e desenho esquemático (b) da provável trajetória de propagação da onda ultrassônica de compressão (**OC**).

Os ensaios de ultra-som com transdutores de faces planas foram realizados conforme a figura 3.37. Na figura observa-se uma foto ilustrando o posicionamento dos transdutores de faces planas (a) e a provável trajetória de propagação das ondas de superfície produzidas pelos transdutores (b).

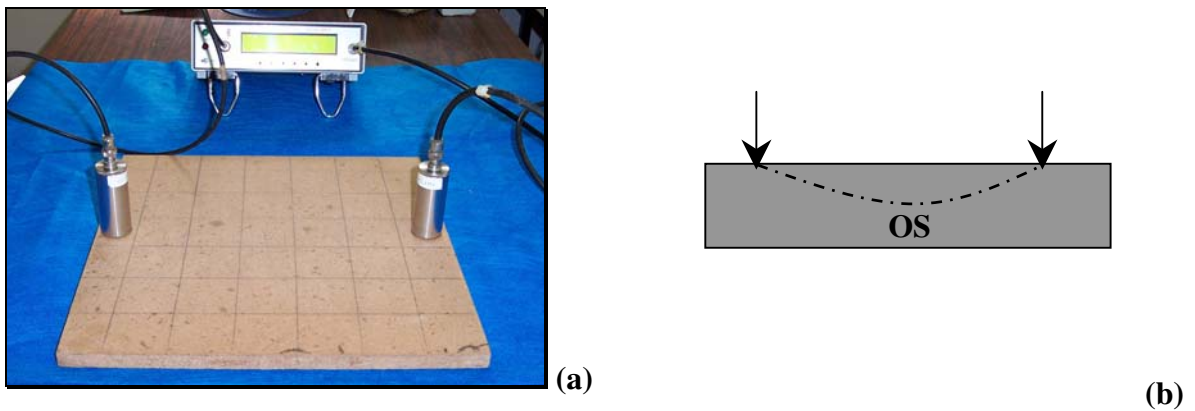


Figura 3.37 - Fotografia do ensaio não-destrutivo com transdutores de faces planas (a) e desenho esquemático (b) da provável trajetória de propagação da onda ultrassônica de superfície (**OS**).

Com os transdutores de superfícies planas foram realizados ensaios nas espessuras das chapas conforme a figura 3.38. Nessa figura observa-se uma fotografia ilustrando o posicionamento dos transdutores de superfícies planas (a) e a provável trajetória de propagação das ondas de superfície produzidas pelos transdutores (b).

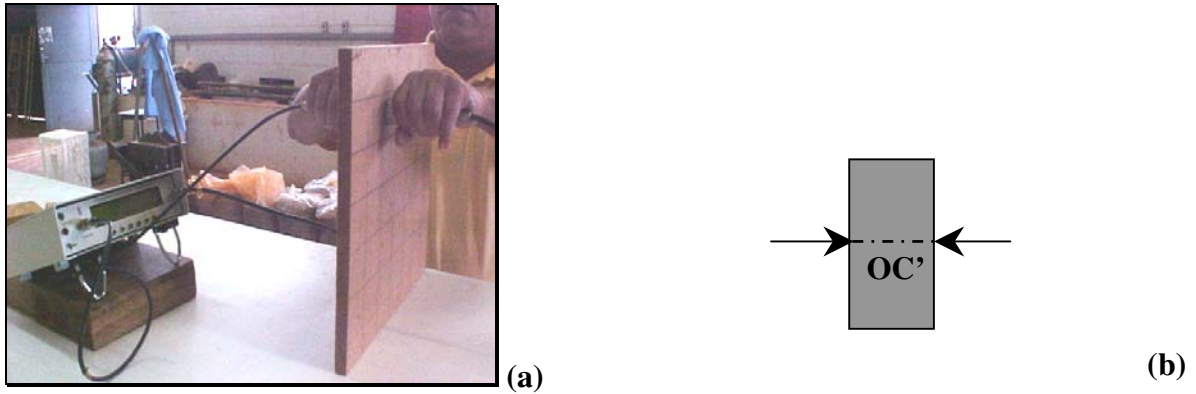


Figura 3.38 - Fotografia do ensaio de ultra-som com transdutores de superfícies planas (a) e o desenho esquemático (b) da provável trajetória de propagação das ondas de compressão (OC').

Nas direções x e y foram aplicados simultaneamente transdutores de faces exponenciais e planas, entretanto, na direção z , foram aplicados somente transdutores de faces planas. Esses ensaios objetivaram avaliar a adequação do equipamento de ultra-som para caracterização das chapas de fibra por meio da verificação de correlações com os valores de ensaios normalizados pela EMB.

Com o equipamento de ultra-som se obtém o tempo de propagação da onda no material. De posse desse tempo calculam-se as velocidades de propagação das ondas que, por sua vez estão relacionadas com as constantes elásticas do material, sendo, portanto, possível obter informações ligadas ao comportamento mecânico do material avaliado.

Para o cálculo das constantes dinâmicas utilizou-se a seguinte equação:

$$CTE = \delta(VO)^2 \times 10^{-3}$$

Onde:

CTE = Constante Dinâmica (MPa)

δ = Densidade aparente dos corpos-de-prova (g/cm^3)

VO = Velocidade de propagação das ondas ultra-sônica (m/s)

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas considerando-se a utilização das variáveis mais importantes, referente aos ensaios destrutivos da fase III, que propiciaram a caracterização

mecânica das chapas. Neste caso utilizou-se o “Modelo linear geral” proposto pelo “Método de Tukey”.

Dentre as propriedades de resistências mais importantes para caracterização das chapas MDF destacam-se os módulos de resistência à flexão estática, à tração perpendicular e à tração superficial. Sendo assim, as análises foram realizadas nos resultados considerando-se somente os valores de resistências obtidos nas chapas confeccionadas na fase III, por representarem os melhores resultado dos estudos desenvolvidos.

O Modelo linear geral foi aplicado utilizando-se o Software Minitab R13, que possibilitou a geração de gráficos onde é possível avaliar se os valores correlacionados satisfazem o modelo experimental, ou seja, se existe suposições de igualdades de variância e de normalidade entre os dados. Na verificação da igualdade de variância o modelo experimental estabelece uma correlação com os dados obtidos experimentalmente e pode ser observado nos gráficos dos resíduos contra valores estimados. Os valores estimados estão relacionados às médias gerais dos dados, ao efeito do tratamento estatístico aplicado e aos erros (resíduos).

A aplicação do modelo linear geral para os ensaios destrutivos correlacionou as dimensões das chapas com suas resistências e com suas condições experimentais. A análise possibilitou avaliar a distribuição de variância, a hipótese de normalidade dos dados e a homogeneidade entre as chapas comparando-se as médias das resistências obtidas por meio de análise de variância múltipla com nível de significância igual a 0,05.

As análises estatísticas realizadas nos resultados dos ensaios não-destrutivos foram feitas por meio de correlações com os ensaios destrutivos, onde se verificou o modelo de regressão, para as variáveis mais significativas, de acordo com os seguintes procedimentos:

- 1 - Coeficiente de determinação (R^2) próximo de 1,0.
- 2 - Distribuições aleatórias de resíduos (R), sem tendências.
- 3 - Valor de F superior ao valor crítico, com nível de significância de 5%.
- 4 - Coeficientes de variação (CV) da regressão inferior a 15%
- 5 - Distribuição normal (EN) das variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ENSAIOS DESTRUTIVOS DA FASE I

Nesta fase I foram confeccionadas chapas de fibras de *Pinus caribaea* com 5 e 10% de PU3070. A tabela 4.1 apresenta os resultados dos ensaios para obtenção dos valores das propriedades das chapas que foram comparados com os valores mínimos das propriedades propostas pela EMB e conforme se observa na tabela, a princípio os resultados obtidos foram significativos. Entretanto, a forte exalação de gases provenientes da PU3070 inviabilizou seu uso sendo necessário o desenvolvimento de uma nova síntese.

Tabela 4.1 - Caracterização das chapas utilizando-se 5 e 10 % de PU3070 da fase I.

CP	ESPESSURA (mm)		δ (g/cm ³)		TP (MPa)		TS (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
	PU5%	PU10%	PU5%	PU10%	PU5%	PU10%	PU5%	PU5%	PU5%
1	6,83	6,38	0,841	0,939	0,88	1,70	1,31	40,3	3587
2	6,81	6,39	0,860	0,912	0,69	1,43	0,83	42,6	3619
3	6,83	6,42	0,866	0,907	0,59	1,58	1,57	46,3	3884
4	6,94	6,43	0,896	0,914	1,24	1,46	1,04	-	-
5	6,91	6,38	0,904	0,913	1,26	1,44	1,59	-	-
6	6,96	-	0,836	-	0,89	-	1,31	-	-
MÉDIA	6,88	6,40	0,867	0,917	0,93	1,52	1,3	43,1	3695
Valores mínimos das propriedades propostas pela EMB (MPa)					0,55	0,55	1,2	23	2700

As figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam uma análise comparativa entre as médias dos resultados das propriedades determinadas em corpos-de-prova das chapas confeccionadas com PU3070 da fase I e os valores mínimos dessas propriedades propostas pela EMB.

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA - MOR

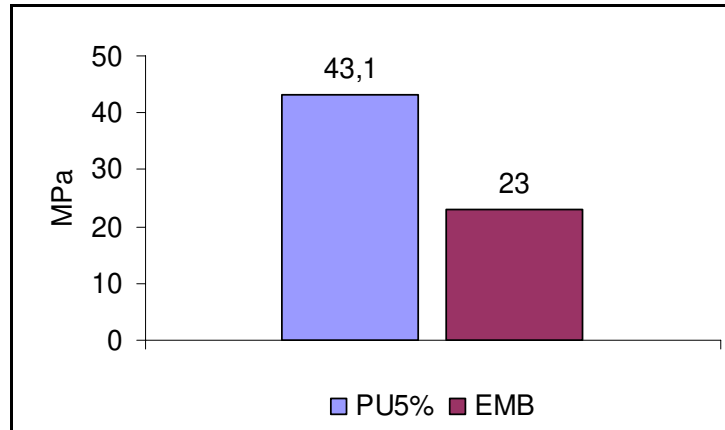


Figura 4.1 – Valores médios de MOR obtidos em três cps com 5% de PU3070.

MÓDULO DE ELASTICIDADE - MOE

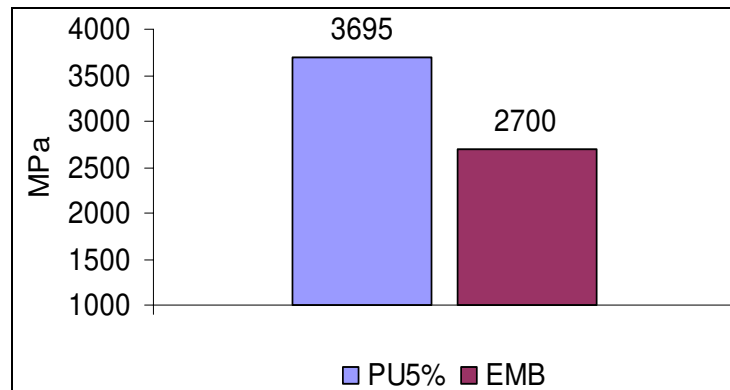


Figura 4.2 – Valores médios de MOE obtidos em três cps com 5% de PU3070.

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR - TP

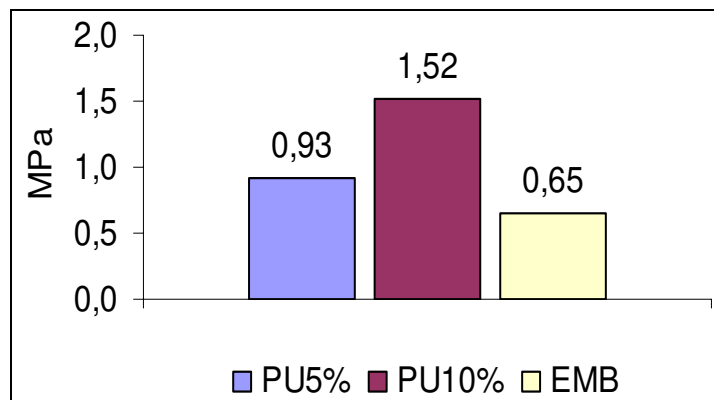


Figura 4.3 – Valores médios de TP obtidos em seis cps com 5 e 10% de PU3070.

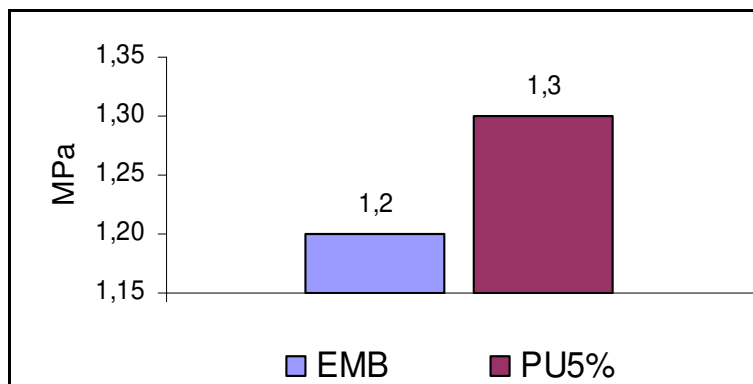
MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SUPERFICIAL - TS

Figura 4.4 – Valores médios de TS obtidos em seis cps com 5% de PU3070.

As chapas confeccionadas com 10 % de PU3070 apresentaram problemas devidos ao forte odor e a expansão de gases, provocando rupturas nas chapas (prejudicando a adesão interna) e inviabilizando seu manuseio em ambientes fechados.

No caso das chapas confeccionadas com 5% de PU3070, os efeitos da expansão dos gases não comprometeram a adesão interna. Entretanto, o forte odor proveniente da PU3070 inviabilizou seu manuseio.

A análise dos resultados de módulo de resistência à flexão estática, tração perpendicular, tração superficial e módulo de elasticidade, apresentados na tabela 4.1 e nas figuras 4.1 a 4.4, permitem observar, que, apesar dos problemas relatados, as referidas proporções de PU3070 conferiram valores satisfatórios. Dessa forma ficou evidente a possibilidade de continuidade dos estudos e a necessidade de ajustar as proporções entre sólidos e solventes para composição de uma nova síntese da resina poliuretana.

Ao se compreender as características da resina poliuretana, foi possível elaborar uma nova síntese, contendo proporções de solventes que se mostraram adequadas à confecção das chapas. A nova proposta para a resina poliuretana constituiu-se em sintetizar proporções de 70% de sólidos e 30% de solventes, denominado neste trabalho de PU7030.

4.2. ENSAIOS DESTRUTIVOS DA FASE II

Na tabela 4.2 são apresentados os valores médios das propriedades das chapas de fibra da fase II. Observa-se na tabela uma análise comparativa entre os valores mínimos propostos pela EMB e os obtidos por meio de ensaios em corpos-de-prova das CE 3, 5, 6 e 7; CE 1, 2, 4 e 8, detalhadas na tabela 3.1, pág. 38 do capítulo material e métodos.

Tabela 4.2 - Valores médios das propriedades das chapas da fase II.

Propriedades	Valores médios das propriedades das chapas								EMB		
	CE3	CE5	CE6	CE7	CE1	CE2	CE4	CE8			
δ (g/cm ³)	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	0,7	0,7	0,6	0,5 a 0,8		
E (mm)	9,4	8,2	8,0	16,6	9,7	9,7	12,2	10,9	>6/9	>9/12	>12/19
MOR (MPa)	31	32	27	23	10	21	15	16	23	22	20
MOE (MPa)	2304	2709	2704	2108	1302	1985	1373	1571	2700	2500	2200
TP (MPa)	1,95	1,19	1,36	0,72					0,55	0,60	0,55
TS (MPa)	2,24	1,55	1,99	1,12					1,2	1,2	1,2
INCH24 (%)	10,9	15,1	14,8	14,7					17	15	12

As figuras 4.5 a 4.9 apresentam uma análise comparativa entre os valores médios das propriedades das chapas da fase II confeccionadas com PU7030 e os valores mínimos das propriedades das chapas MDF propostos pela EMB.

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA - MOR

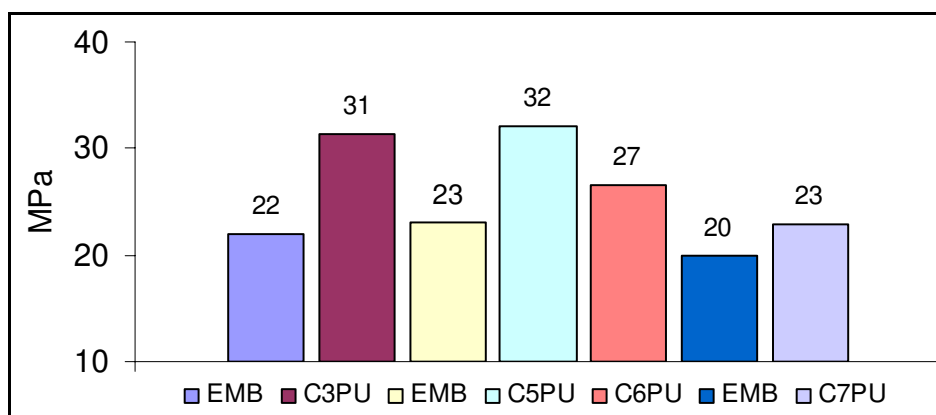


Figura 4.5 – Valores médios de MOR obtidos em vinte e um (21) cps das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.

MÓDULO DE ELASTICIDADE - MOE

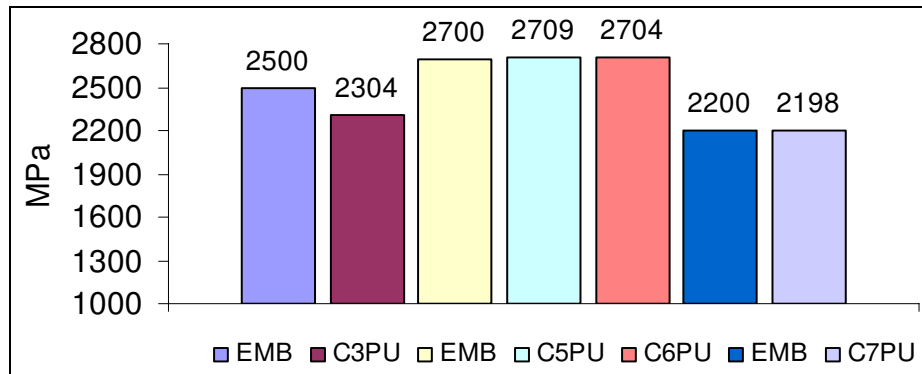


Figura 4.6 – Valores médios de MOE obtidos em vinte e um (21) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR - TP

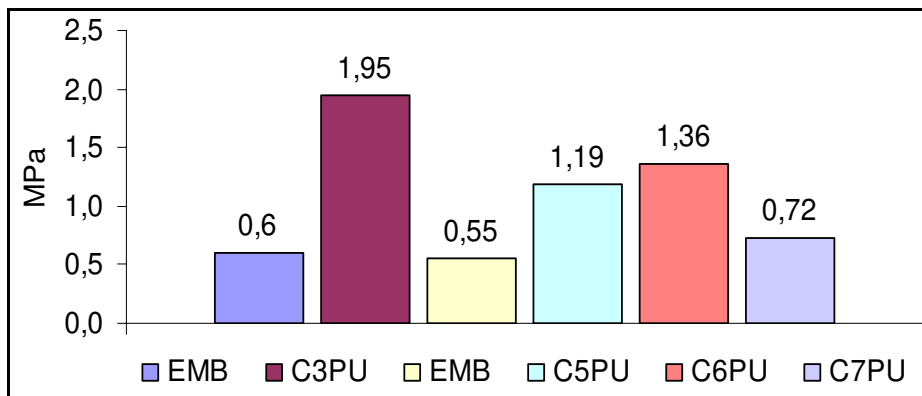


Figura 4.7 – Valores médios de TP obtidos em nove (9) cp das chapas da CE 3, 5, 6 e 7

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SUPERFICIAL - TS

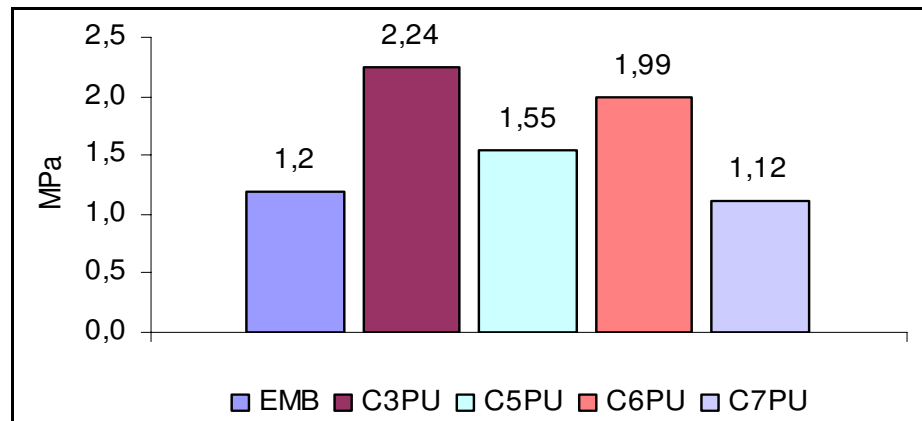


Figura 4.8 – Valores médios de TS obtidos em nove (9) cp das chapas das CE 3, 5, 6 e 7

INCHAMENTO APÓS 24 HORAS – INCH24

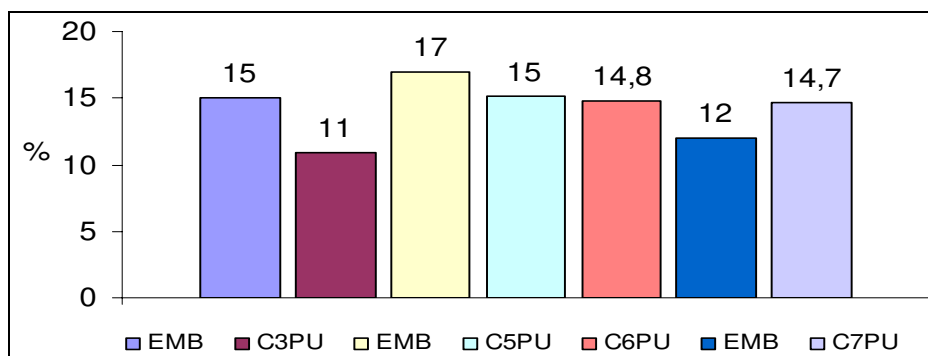
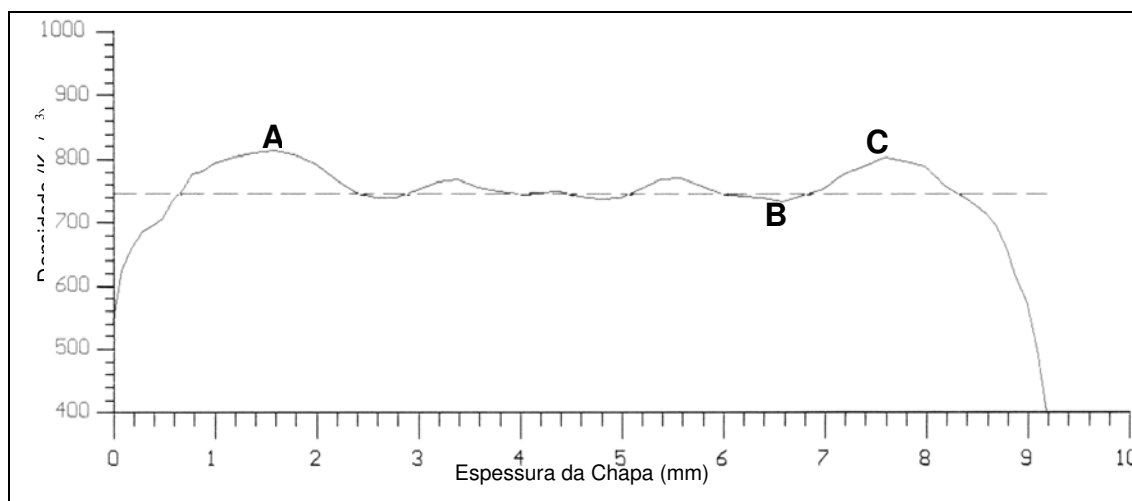


Figura 4.9 - Percentual de Inchamento obtido em nove (9) cps das chapas das CE 3, 5, 6 e 7

Na CE7, observa-se que o percentual de inchamento foi superior (14,7 %) ao máximo proposto pela EMB (12 %). Este fato foi decorrente da diminuição do colchão de fibras para possibilitar seu encaixe entre os partos da prensa, ocasionando a redução da massa de fibras que certamente propiciou diminuição na densidade, afetando também a resistência das chapas à umidade. Deve ser considerado também que em nenhuma das chapas foi adicionado parafina nas fibras, procedimento adotado pelas indústrias para conferir maior resistência à umidade das chapas.

A análise da densidade foi outro aspecto observado nas chapas. As figuras 4.10 a 4.13 apresentam os gráficos dos perfis de densidades das chapas.

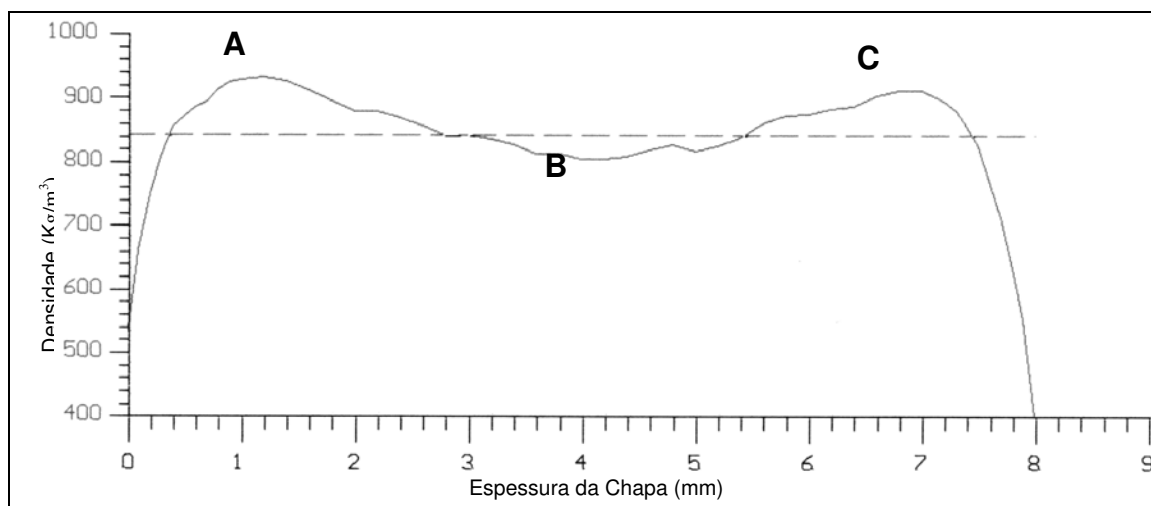
PERFIL DE DENSIDADE



A = 813kg/m³, B = 740kg/m³, C = 802kg/m³, Espessura do cp = 9,42 mm, Peso do cp = 17,87g

Figura 4.10 - Perfil de densidade das chapas na CE3.

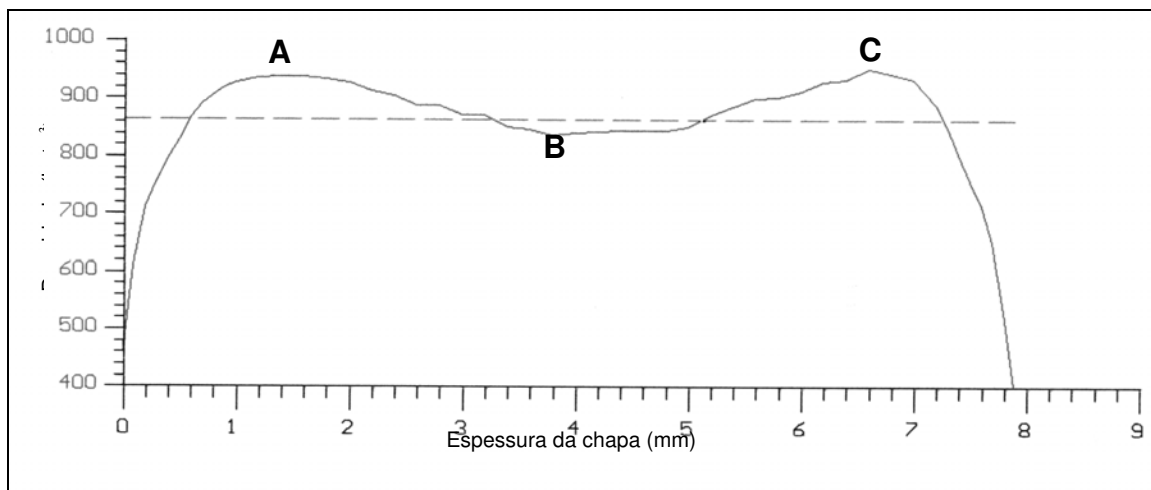
PERFIL DE DENSIDADE



A = 931 kg/m^3 , B = 810 kg/m^3 , C = 912 kg/m^3 , Espessura do cp = 8,19mm, Peso do cp = 17,46g

Figura 4.11 - Perfil de densidade das chapas da CE5.

PERFIL DE DENSIDADE



A = 937 kg/m^3 , B = 840 kg/m^3 , C = 951 kg/m^3 , Espessura do cp = 8,01mm, Peso do cp = 17,49 g

Figura 4.12 - Perfil de densidade das chapas da CE6

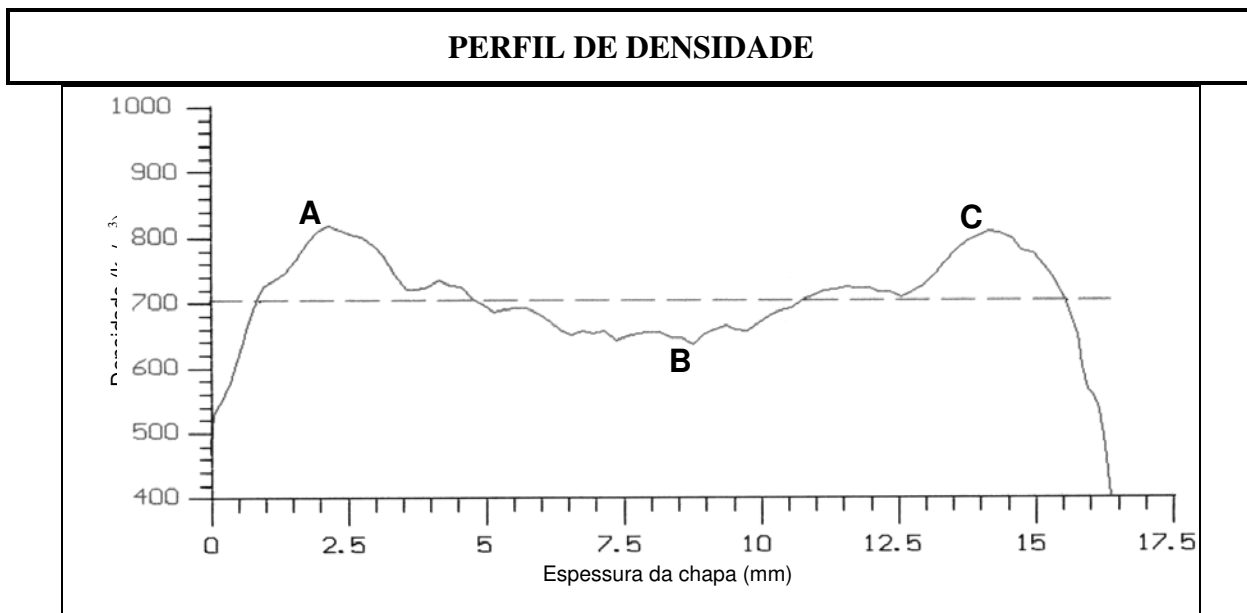


Figura 4.13 - Perfil de densidade das chapas da CE7.

De acordo com os valores de rigidez do módulo de elasticidade e módulo de resistência à flexão estática, as chapas das CE 1, 2, 4 e 8 (tabela 4.2) não atenderam aos requisitos mínimos propostos pela EMB, sendo assim, não foram selecionadas para verificação das demais propriedades.

Nos gráficos das figuras 4.5 a 4.9 verifica-se uma comparação entre os valores dos módulos de resistência obtidos por meio de ensaios destrutivos e os valores mínimos propostos pela EMB. Para os ensaios de flexão estática e tração perpendicular (gráficos das figuras 4.5 e 4.7) observa-se que esses valores são superiores aos exigidos pela EMB.

Na CE3 foram confeccionadas chapas com 9 % de umidade e 8 % de PU7030. Neste caso, como pode ser evidenciado na figura 4.6, o módulo de elasticidade não atingiu o valor mínimo de rigidez exigido pela EMB. Os valores obtidos indicam a necessidade ajustar as variáveis do processo de confecção das chapas. Entretanto, observou-se nesta mesma condição, que as demais propriedades de resistência superaram os valores mínimos exigidos pela EMB. Este fato pode ser justificado considerando-se que o teor de PU7030 utilizado (8 %), provavelmente compensou as demais deficiências.

Na CE7 foram confeccionadas chapas de fibra com 9 % de umidade e 5% de PU7030. Neste caso, observou-se nas figuras 4.6, 4.8 e 4.9, referentes aos gráficos do módulo de elasticidade, módulo

de resistência à tração superficial e o inchamento nas chapas, que os resultados obtidos não atingiram os valores mínimos exigidos pela EMB, sendo um indicativo da necessidade de se ajustar os teores de umidade e de PU.

Com relação às densidades das chapas das CE 3; 5; 6 e 7, os gráficos das figuras 4.10 a 4.13 evidenciam que estão entre 0,5 e 0,8 g/cm³. Entretanto, na CE7 houve necessidade de diminuir a massa de fibras do colchão por não encaixar no espaço disponível entre as placas da prensa, apesar desse problema, as densidades se mantiveram dentro dos limites propostos pela EMB.

Na tabela 3.1, apresentada no capítulo material e métodos, as CE da fase II propunham que as chapas de fibra fossem confeccionadas com pressão de prensagem igual a 40 bar. Entretanto, nos eixos relativos às espessuras das chapas apresentados nos gráficos das figuras 4.10 a 4.13, observa-se que a pressão (40 bar) aplicada para confecção das chapas não foi suficiente, conseqüentemente as chapas não atingiram a espessura programada.

A análise das temperaturas utilizadas na confecção das chapas de fibra possibilitou diagnosticar que para os casos da aplicação de 190 °C, ocorreu forte “degasagem” provocando rupturas em algumas chapas, entretanto, para 160 °C não se observou “degasagem” nem rupturas nas chapas.

Na CE5 foram propostas confecções de chapas de fibra com 12 % de umidade e 5 % de resina PU7030. Nestas chapas determinaram-se módulos de resistência à flexão estática e tração perpendicular superiores aos mínimos exigidos pela EMB. Esses resultados são devidos à cura pela umidade da poliuretana.

Na CE6 foi proposto confecções de chapas com fibras de *Eucalyptus grandis* com 5 % de PU7030 e 9 % de umidade. Os valores obtidos, apresentados nas figuras 4.5 a 4.9, são superiores aos mínimos exigidos pela EMB. A princípio, esses resultados são indicativos de que as chapas com fibras de *Eucalyptus grandis* foram adequadamente confeccionadas.

4.3. ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS DA FASE II

Na análise realizada, inicialmente observou-se o comportamento da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas nas chapas de fibra. Essas velocidades estão apresentadas no anexo 3 e foram facilmente determinadas utilizando-se transdutores de faces exponenciais e planas nas direções x e y e transdutores de faces planas na direção z das chapas.

Conforme descrito no capítulo material e métodos, nas direções x e y das chapas foram aplicados transdutores de faces exponenciais e planas, responsáveis pela geração de ondas ultra-sônicas de compressão (**OC**) e de superfície (**OS**). Na direção z foram aplicados somente transdutores de faces planas, responsáveis pela geração de ondas de compressão (**OC'**). Conseqüentemente as figuras 4.14 a 4.37 ilustram as variações das velocidades das ondas de compressão (**VVOC**) e (**VVOC'**), variação das velocidades das ondas de superfície (**VVOS**).

Nos gráficos das figuras 4.14 a 4.37 observam-se as variações das velocidades das ondas ultra-sônicas nas chapas, essas velocidades se apresentam com valores menores próximo às bordas e maiores no centro das chapas. Este aspecto pode ser explicado devido a maior compactação das chapas nas regiões centrais, propiciando a diminuição dos espaços vazios entre as fibras; enquanto que nas regiões próximas às bordas das chapas a compactação fica prejudicada devido ao processo de degasagem, interferindo na adesão entre as fibras e conseqüentemente aumentando os espaços vazios. Nas figuras 4.14 a 4.37 estão ilustrados os gráficos das variações das velocidades das ondas ultra-sônicas nas direções x , y , e z das chapas.

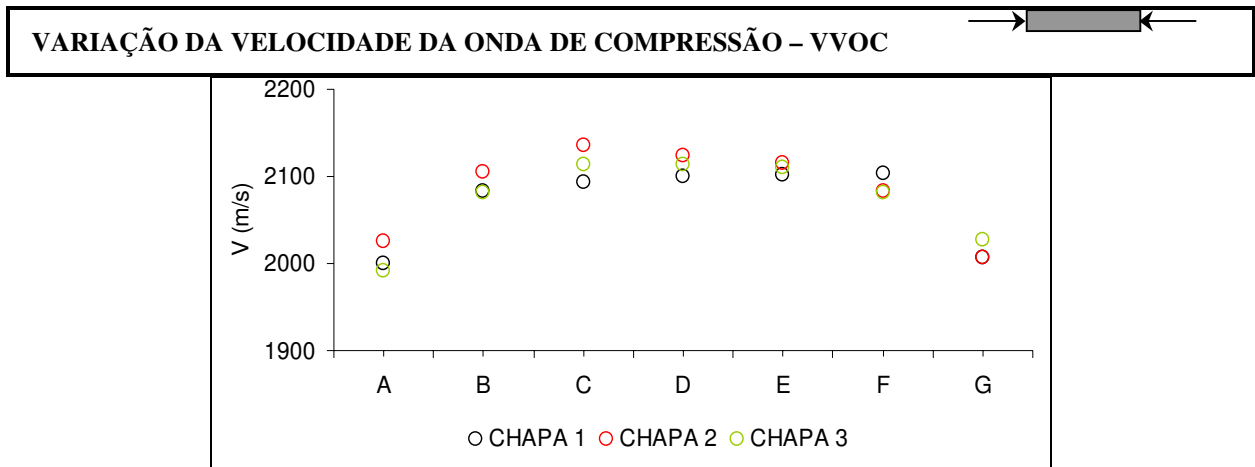


Figura 4.14 - VVOC das chapas da CE1.

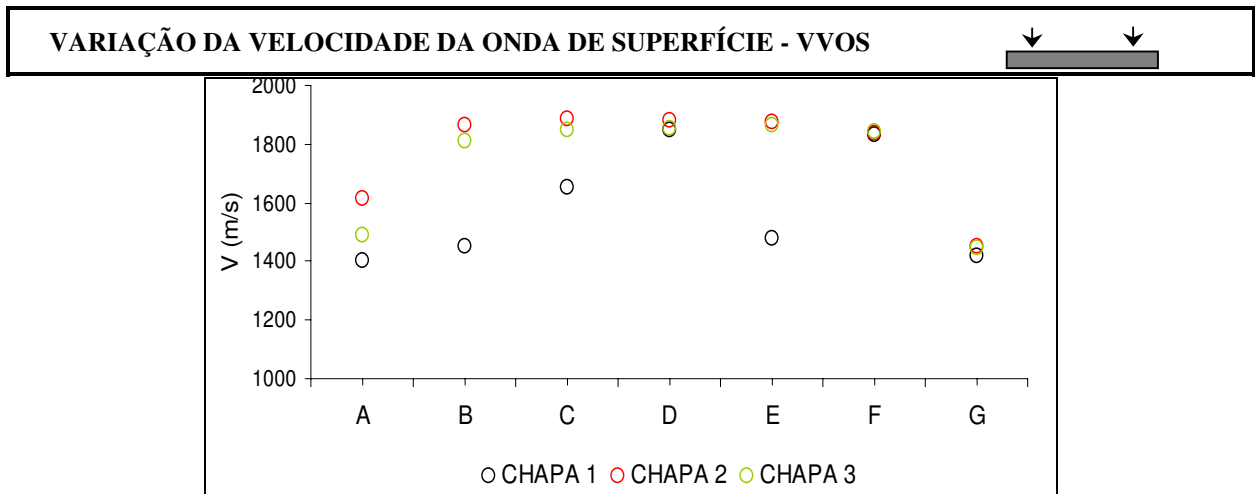


Figura 4.15 - VVOS das chapas da CE1.

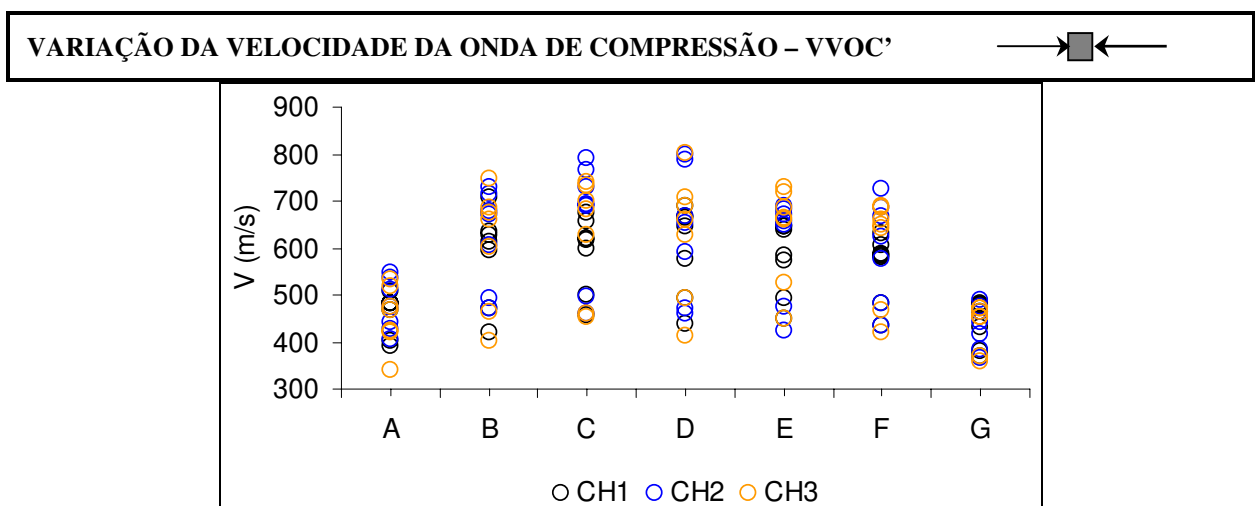


Figura 4.16 – VVOC' das chapas da CE1.

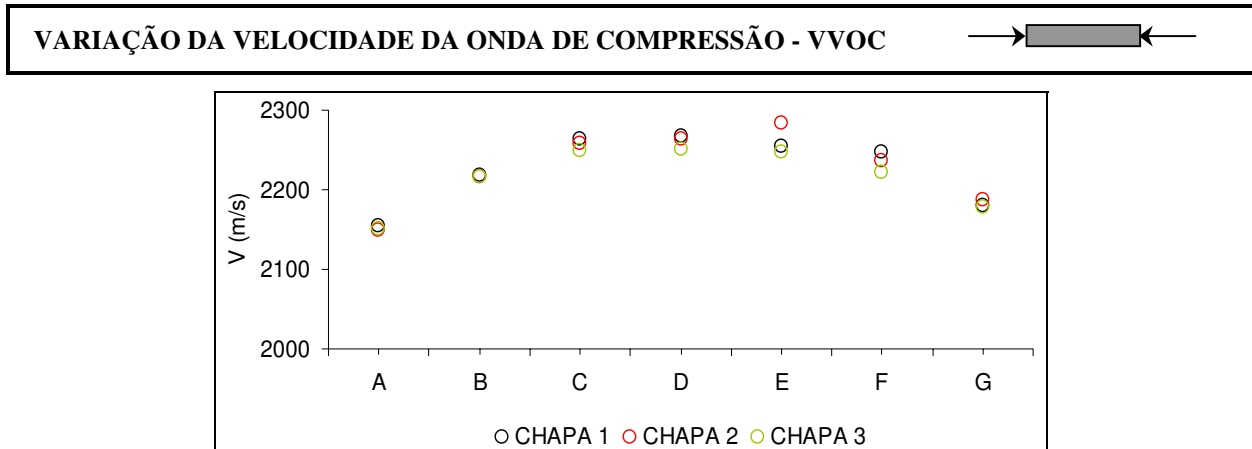


Figura 4.17 - VVOC das chapas da CE2.

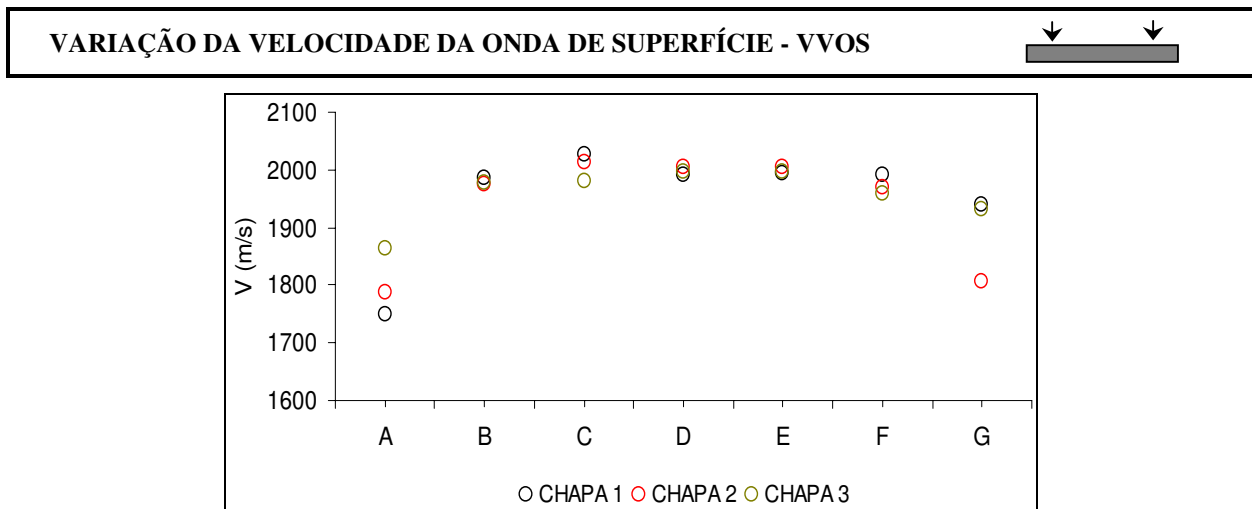


Figura 4.18 - VVOS das chapas da CE2.

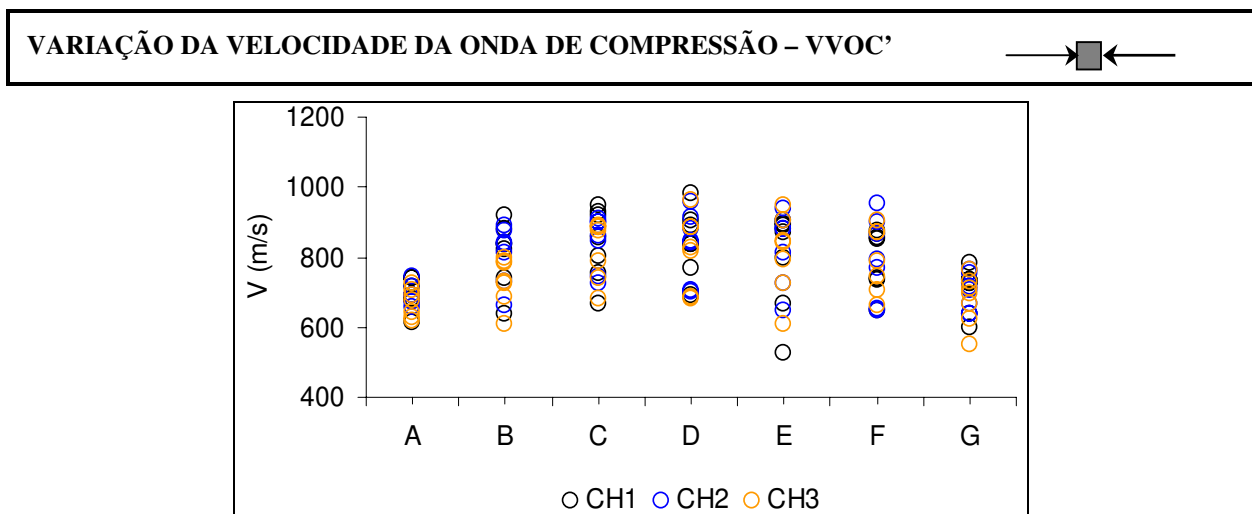


Figura 4.19 – VVOC' das chapas da CE2.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC

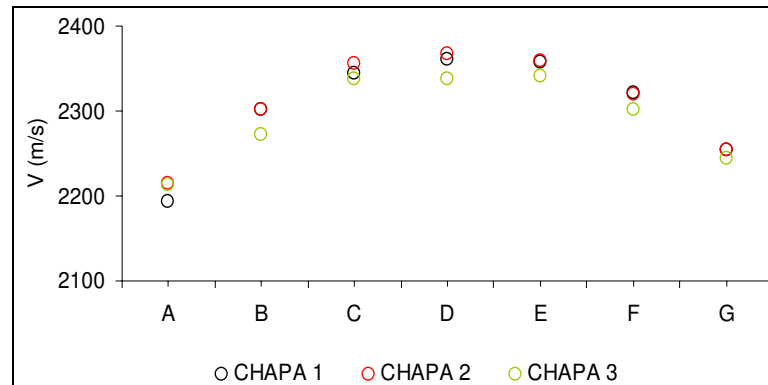


Figura 4.20 - VVOC das chapas da CE3.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE SUPERFÍCIE - VVOS

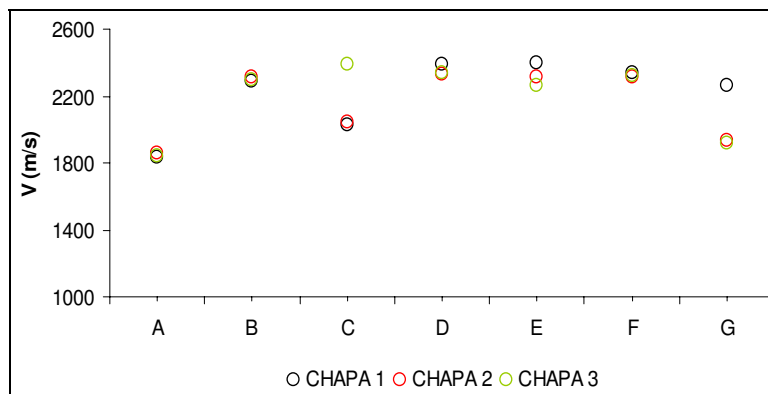


Figura 4.21 – VVOS das chapas da CE3.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC'

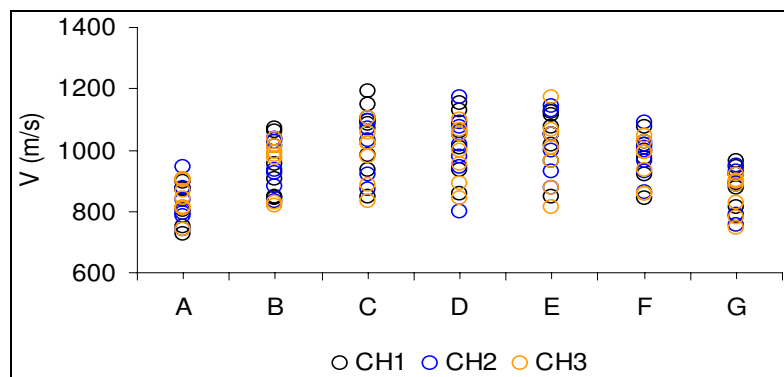


Figura 4.22 – VVOC' das chapas da CE3.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC

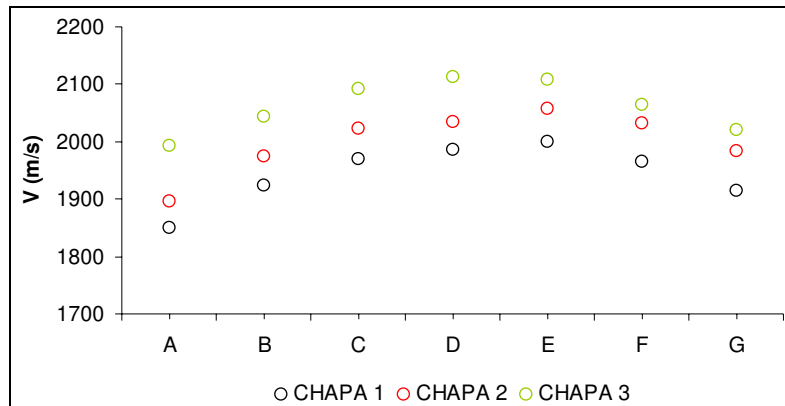


Figura 4.23 - VVOC das chapas da CE4.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE SUPERFÍCIE - VVOS

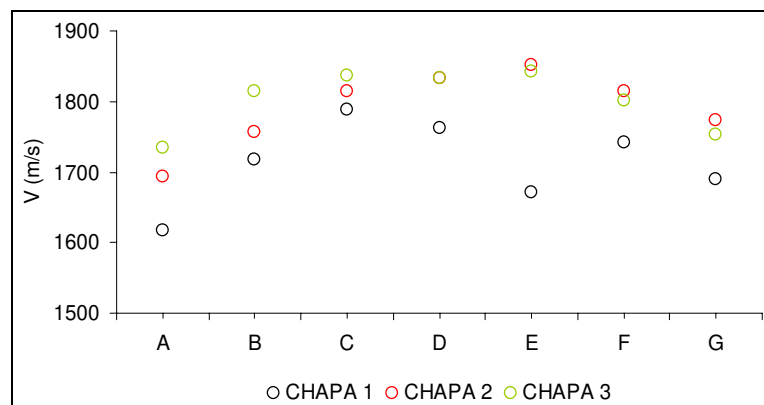


Figura 4.24 - VVOS das chapas da CE4.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC'

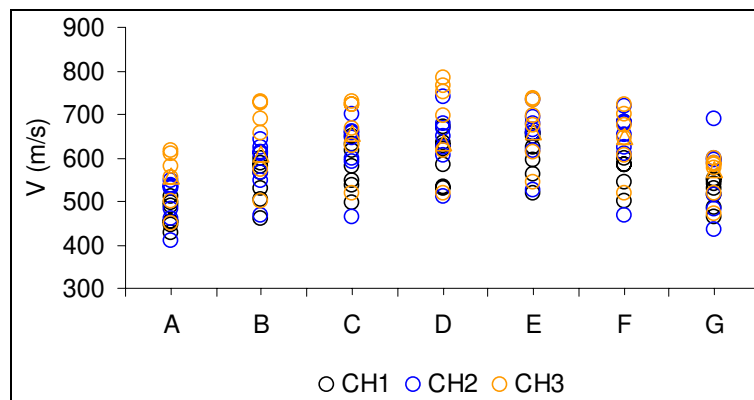


Figura 4.25 – VVOC' das chapas da CE4.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC

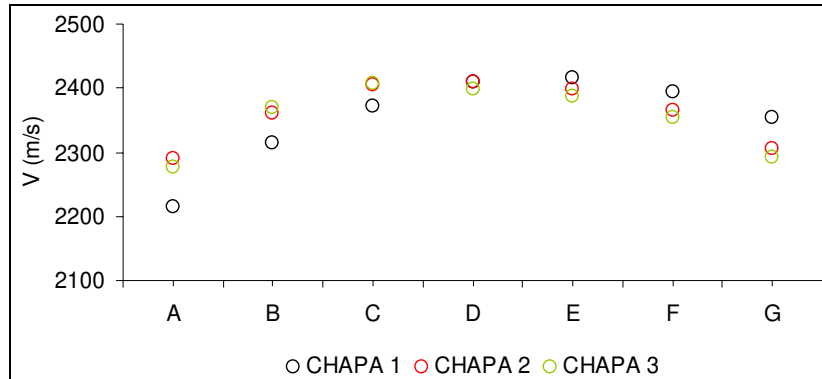


Figura 4.26 - VVOC das chapas da CE5.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE SUPERFÍCIE - VVOS

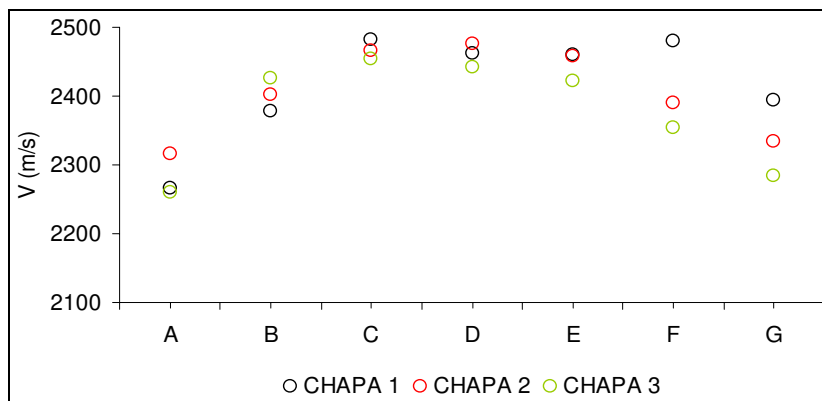


Figura 4.27 - VVOS das chapas da CE5.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC'

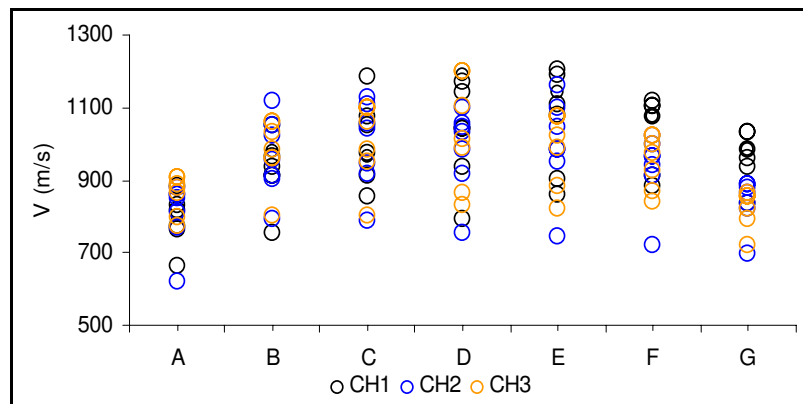


Figura 4.28 - VVOC' das chapas da CE5.

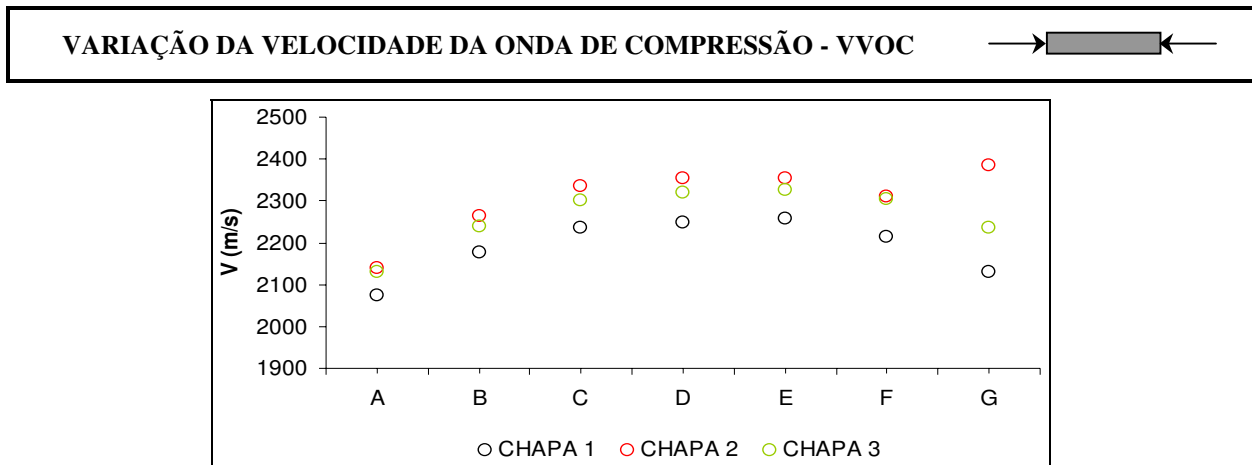


Figura 4.29 - VVOC das chapas da CE6.

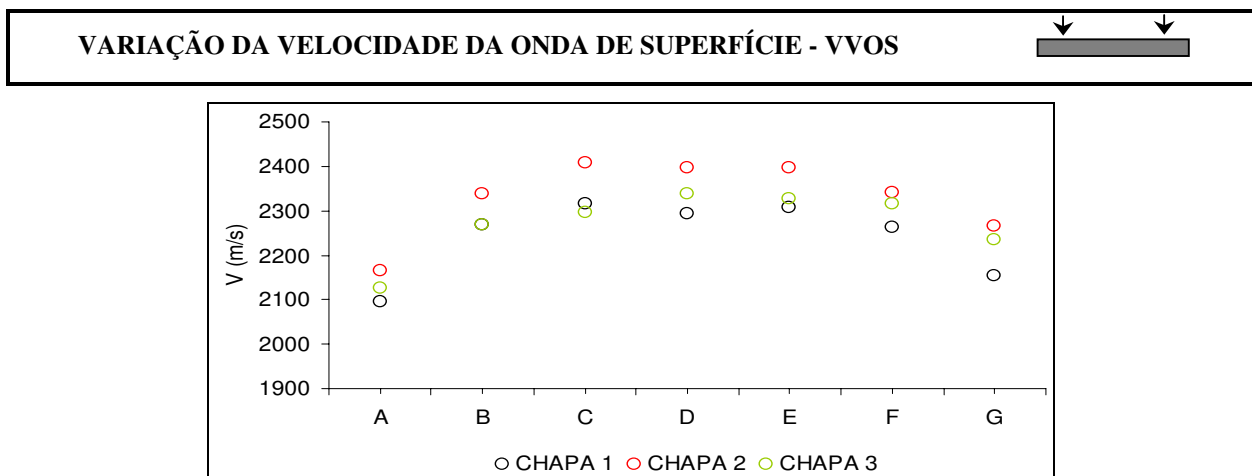


Figura 4.30 - VVOS das chapas da CE6.

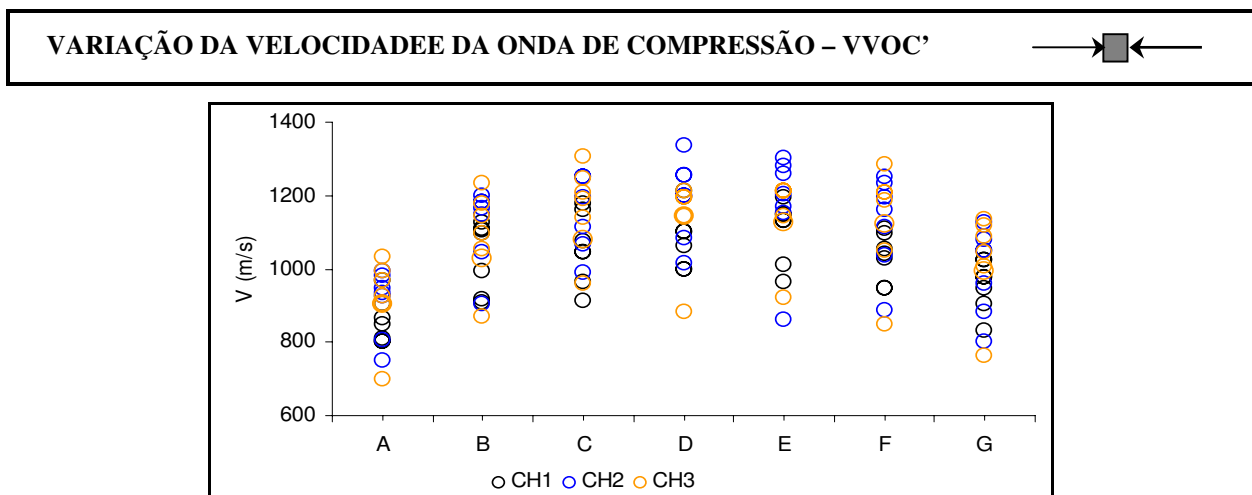


Figura 4.31 – VVOC' das chapas da CE6.

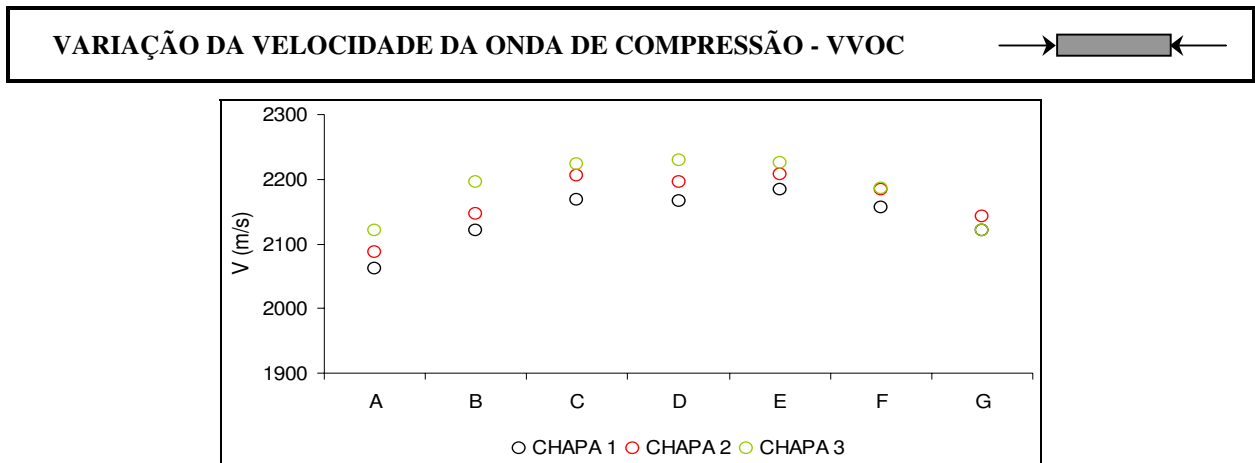


Figura 4.32 - VVOC das chapas da CE7.

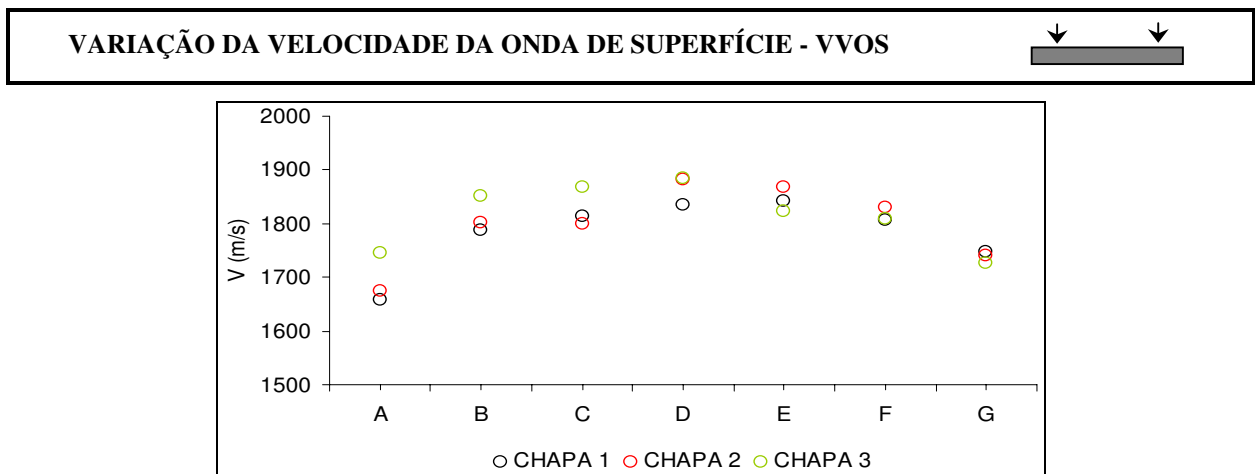


Figura 4.33 - VVOS das chapas da CE7.

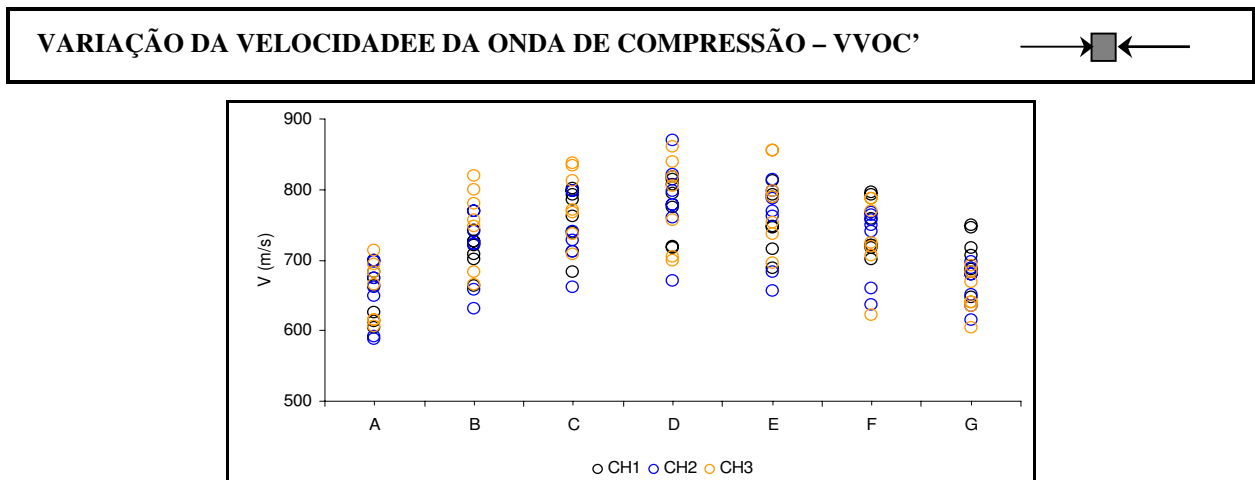


Figura 4.34 – VVOC' das chapas da CE7.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC

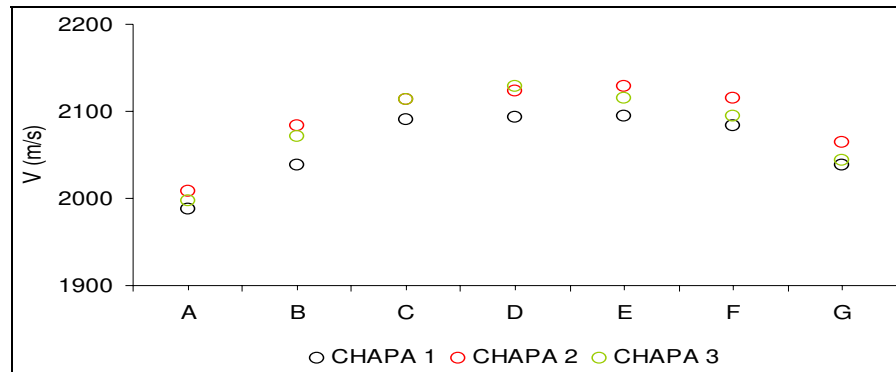


Figura 4.35 - VVOC das chapas da CE8.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE SUPERFÍCIE - VVOS

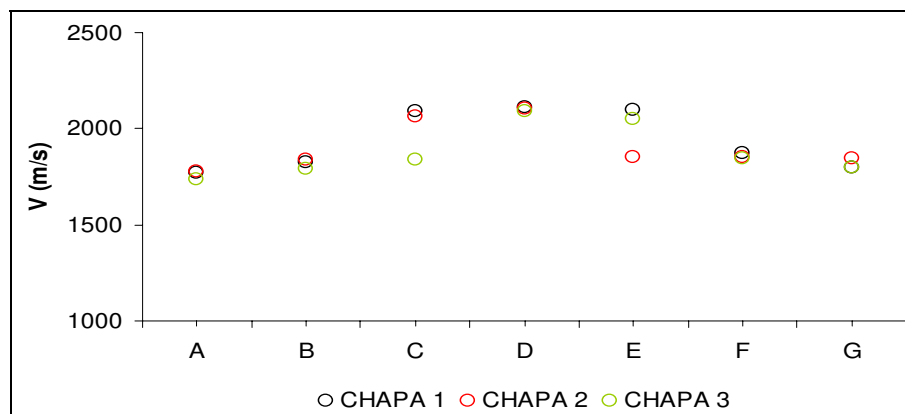


Figura 4.36 - VVOS das chapas da CE8.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DA ONDA DE COMPRESSÃO - VVOC'

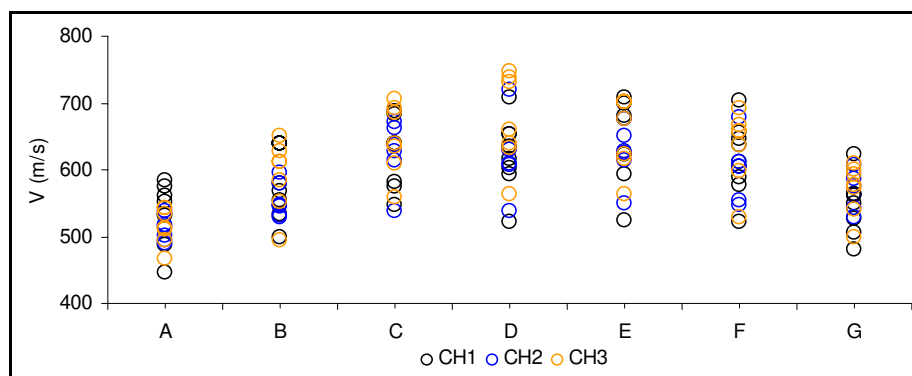


Figura 4.37 – VVOC' das chapas da CE8.

Ao se comparar às variações das velocidades das ondas ultra-sônicas com as variações das densidades nas chapas, observou-se que apresentam características similares, ou seja, variam nas mesmas regiões das chapas.

Após análise das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas, foram determinadas e analisadas as constantes dinâmicas das chapas de fibra, que a princípio são compatíveis com os valores obtidos nos ensaios destrutivos. Observa-se também, que os valores das constantes dinâmicas são sempre superiores aos valores dos ensaios estáticos, resultado esse compatível com a literatura.

Na tabela 4.3 observam-se os valores médios das constantes dinâmicas (**CTE**) obtidas a partir de transdutores de faces exponenciais aplicados nas direções *x* e *y* das chapas e os valores médios rigidez dos módulos de elasticidade (**MOE**) e módulos de resistência à flexão estática (**MOR**).

Tabela 4.3 - Valores médios das **CTE**, **MOE** e **MOR**.

											
	CTE _y	CTE _x	MOE	MOR	CTE _y	CTE _x	MOE	MOR	CTE _z	MOE	MOR
CE1	2096	2085	1302	10	1697	1513	1302	10	164	1302	10
CE2	3289	3401	1985	21	1950	2532	1985	21	407	1985	21
CE4	2166	2138	1373	15	1769	1692	1373	15	630	1373	15
CE8	2615	2613	1571	16	1907	2212	1571	16	219	1571	16
CE3	3654	3640	2304	31	2219	3413	2304	31	661	2304	31
CE5	4342	4378	2709	32	2417	4607	2709	32	739	2709	32
CE6	3955	3939	2704	27	2282	4053	2704	27	961	2704	27
CE7	3046	3201	2108	23	1799	2107	2108	23	359	2108	23

Na tabela 4.3, ao se comparar os transdutores de faces exponenciais com os de faces planas, observa-se que os valores das **CTE** são compatíveis com os valores dos **MOE** e **MOR**, para as CE 1, 2, 4 e 8, ou seja, foram determinados os **menores** valores entre os ensaios não-destrutivos e destrutivos. Para o caso das condições 3, 5, 6 e 7, ao se comparar os transdutores de faces exponenciais e planas, observa-se que os valores das **CTE** também são compatíveis com os valores dos **MOE** e **MOR**, ou seja, nestes casos, foram determinados os **maiores** valores entre os ensaios não-destrutivos e destrutivos.

Devido ao comportamento da variação das velocidades de propagação das ondas ultrassônicas nas chapas, buscou-se analisar o coeficiente de determinação (R^2) entre essas velocidades e as propriedades físicas e mecânicas das chapas.

4.4. CORRELAÇÕES ENTRE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS E DESTRUTIVOS DA FASE II

As análises das correlações entre ensaios não-destrutivos e destrutivos foram realizadas considerando-se as direções *y* e *z*, este procedimento foi determinado devido aos ensaios destrutivos, ou seja, os corpos-de-prova foram extraídos das chapas na direção *y*, determinando naturalmente a direção *z*.

Nas figuras 4.38 a 4.49 estão apresentados os R^2 entre **VOC**, **VOS**, **VOC'** e as densidades (**D**) das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.

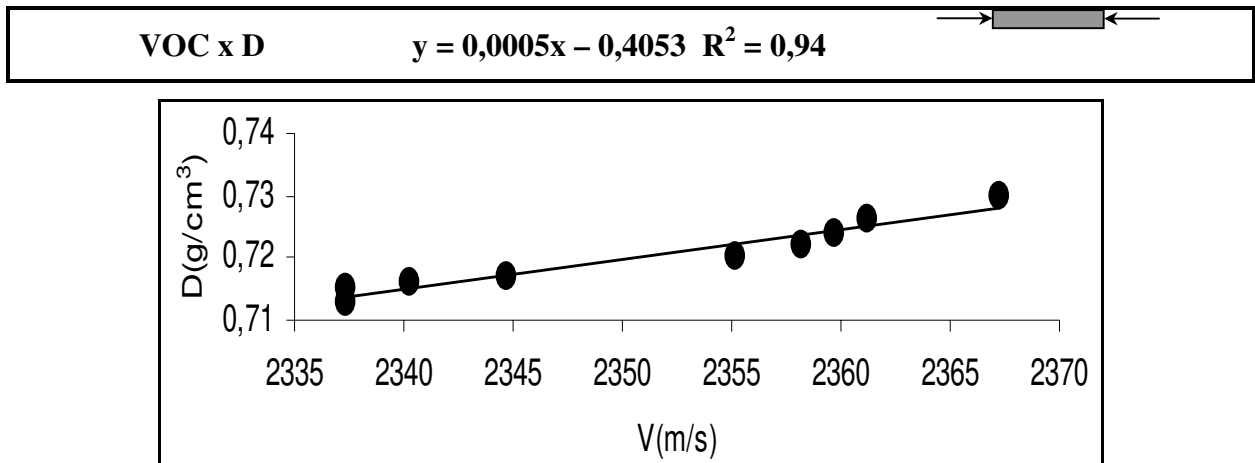


Figura 4.38 – R^2 entre VOC e D das chapas da CE3.

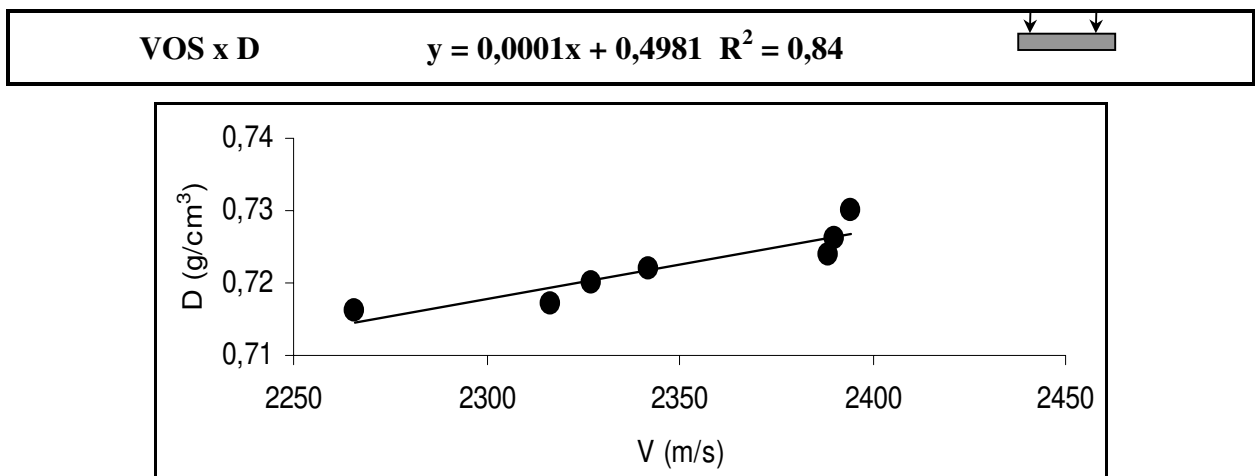


Figura 4.39 – R^2 entre VOS e D das chapas da CE3.

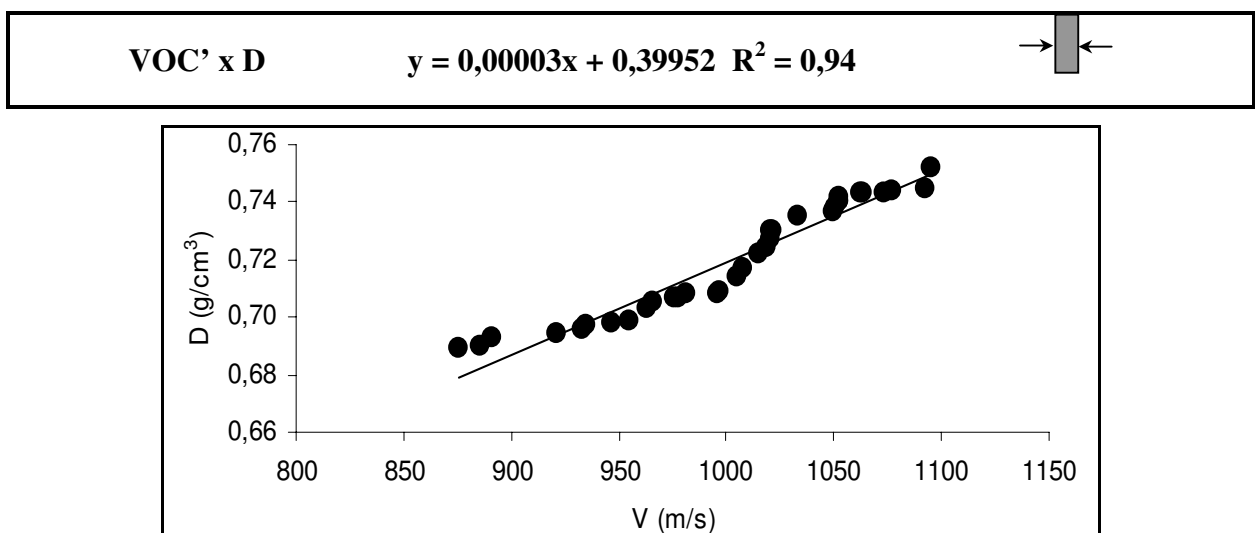


Figura 4.40 - R^2 entre VOC' e D das chapas da CE3.

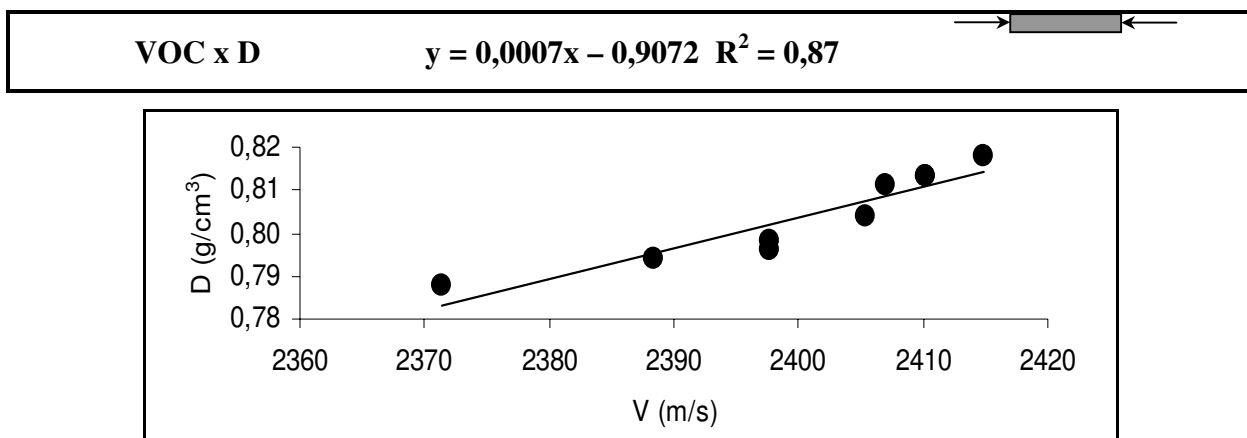


Figura 4.41 - R² entre VOC e D das chapas da CE5.

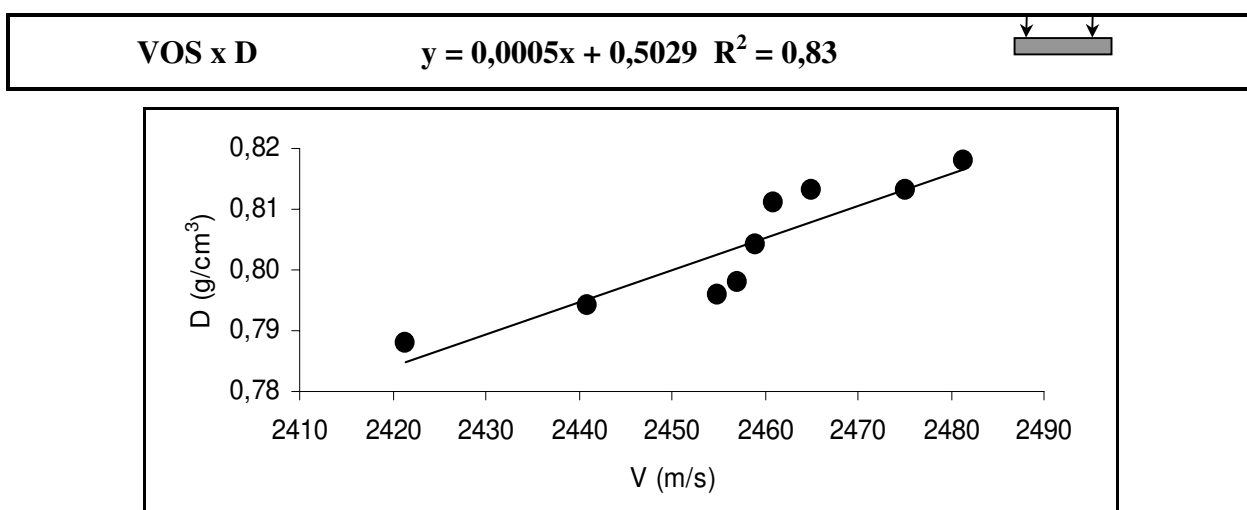


Figura 4.42 - R² entre VOS e D das chapas da CE5.

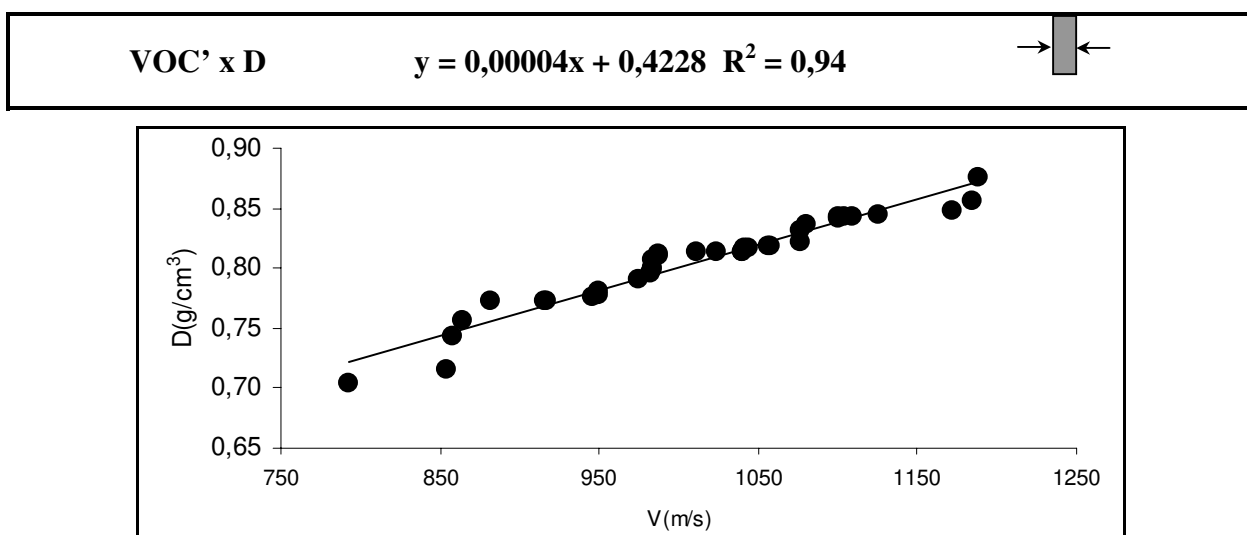


Figura 4.43 - R² entre VOC' e D das chapas da CE5.

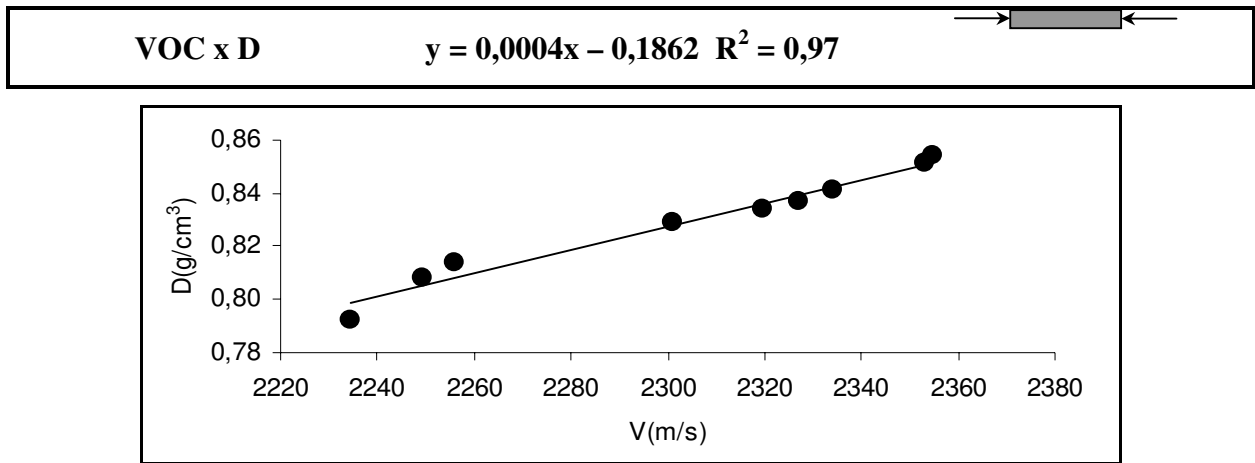


Figura 4.44 - R^2 entre VOC e D das chapas da CE6.

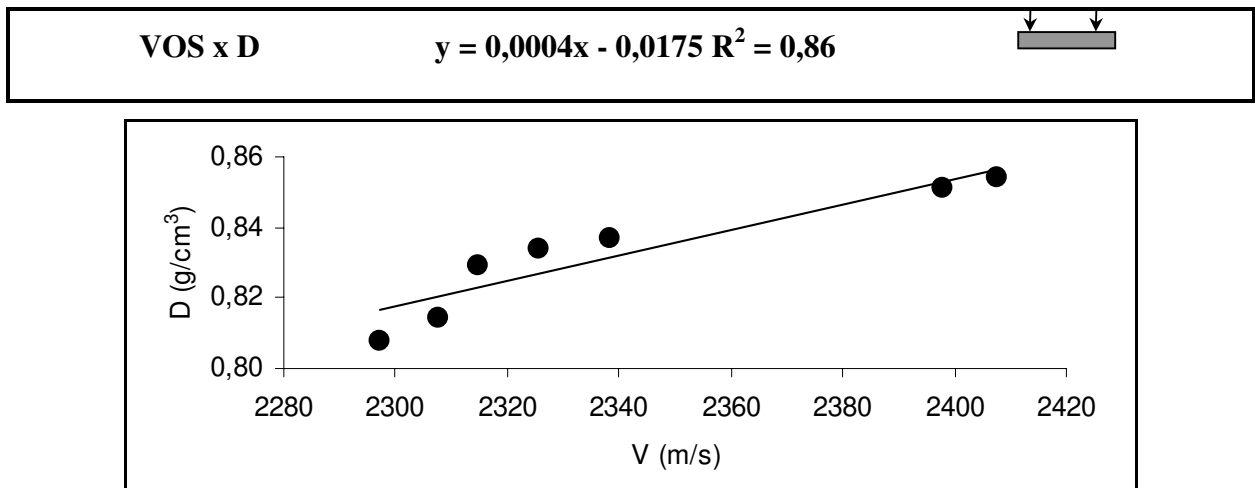


Figura 4.45 - R^2 entre VOS e D das chapas da CE6.

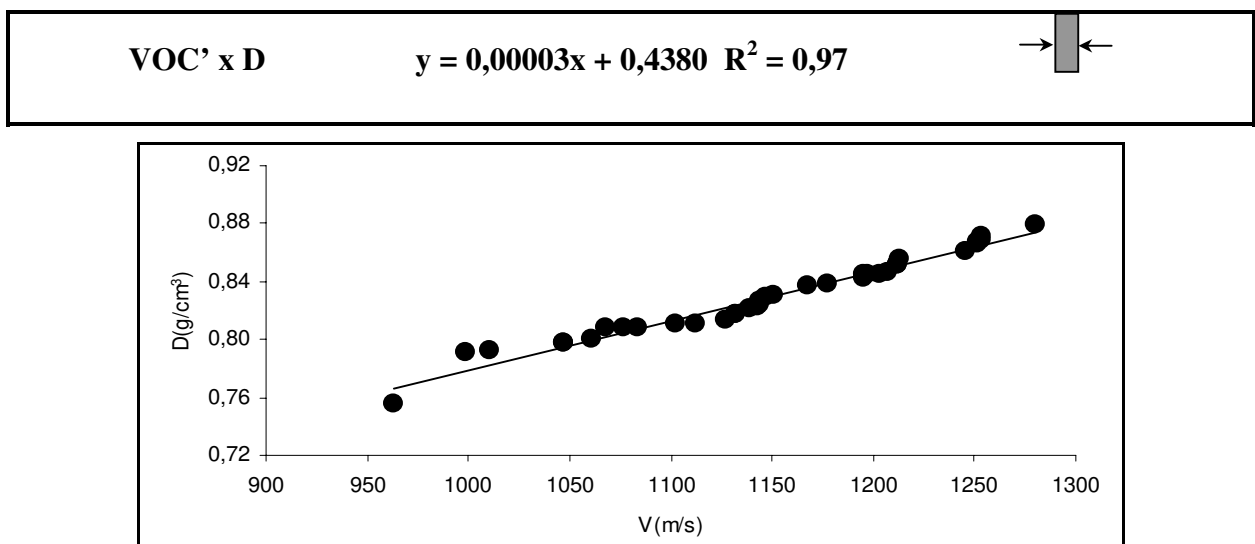


Figura 4.46 - R^2 entre VOC' e D das chapas da CE6.

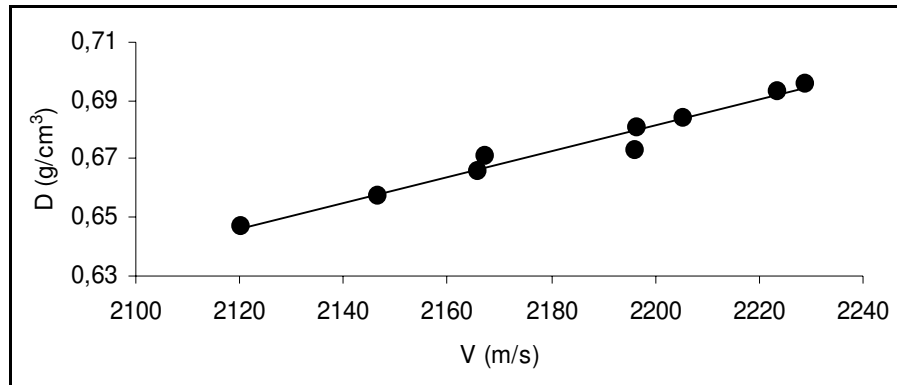
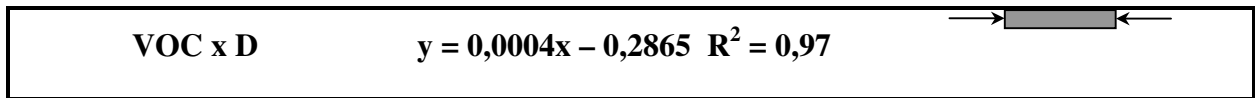


Figura 4.47 - R^2 entre VOC e D das chapas da CE7.

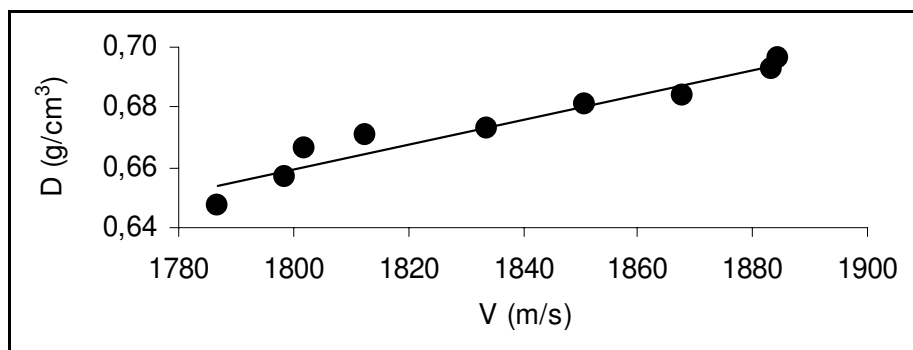
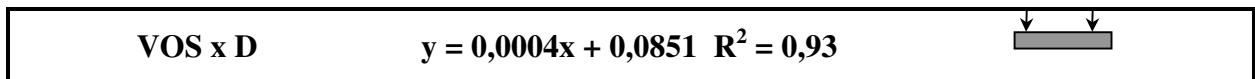


Figura 4.48 - R^2 entre VOS e D das chapas da CE7.

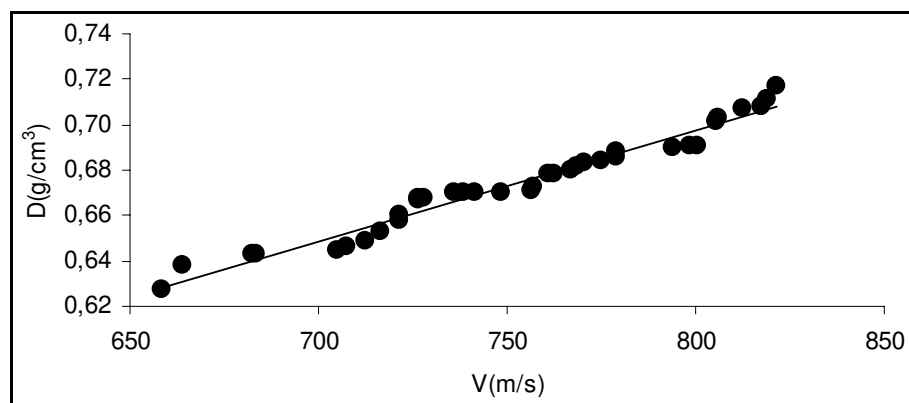
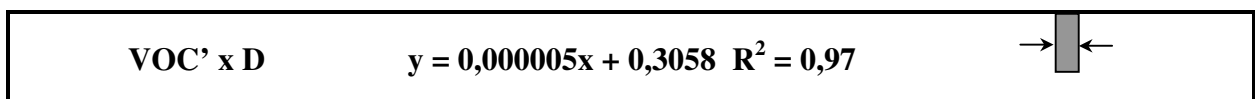


Figura 4.49 - R^2 entre VOC' e D das chapas da CE7.

Nas Figuras 4.50 a 4.61 estão apresentados os R^2 entre VOC, VOS, VOC' e os MOR das chapas das CE 3, 5, 6, 7.

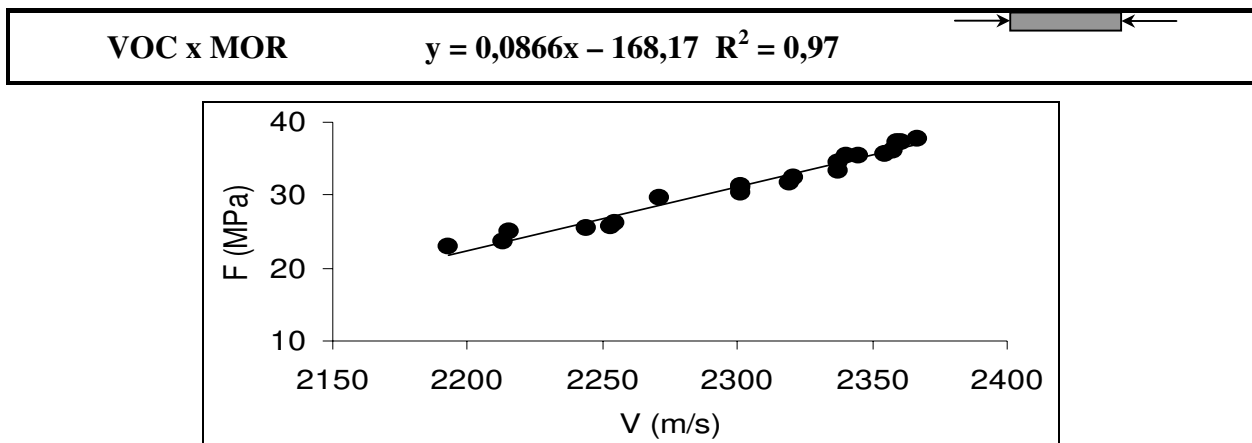


Figura 4.50 - R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE3.

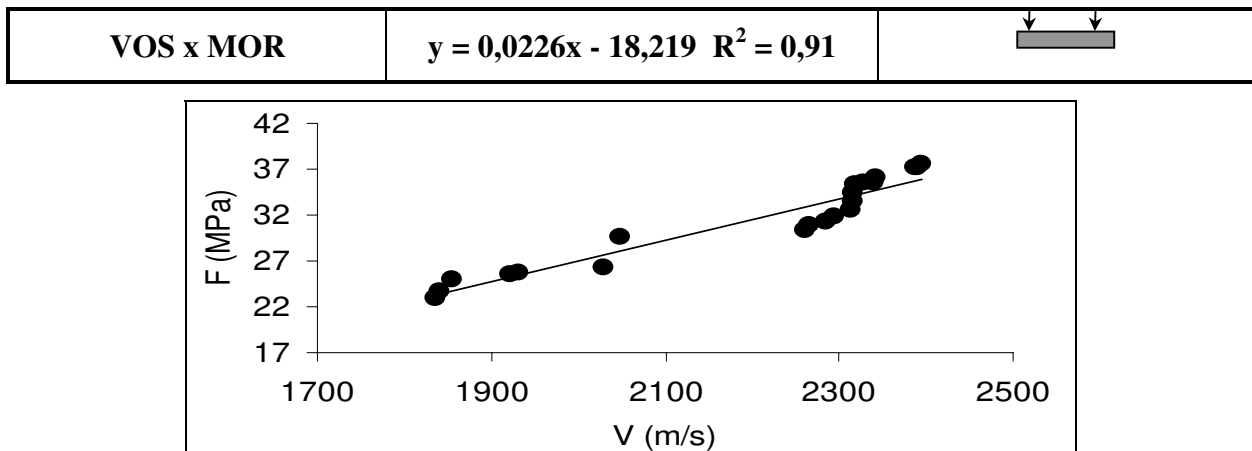


Figura 4.51 - R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE3.

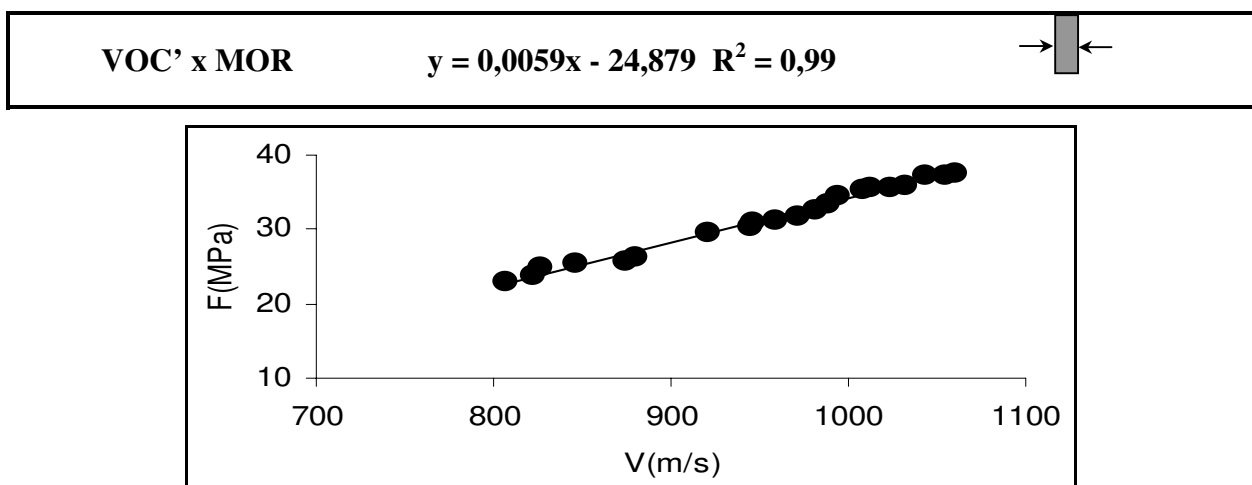


Figura 4.52 - R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE3.

VOC x MOR

$$y = 0,1068x - 219,99 \quad R^2 = 0,95$$

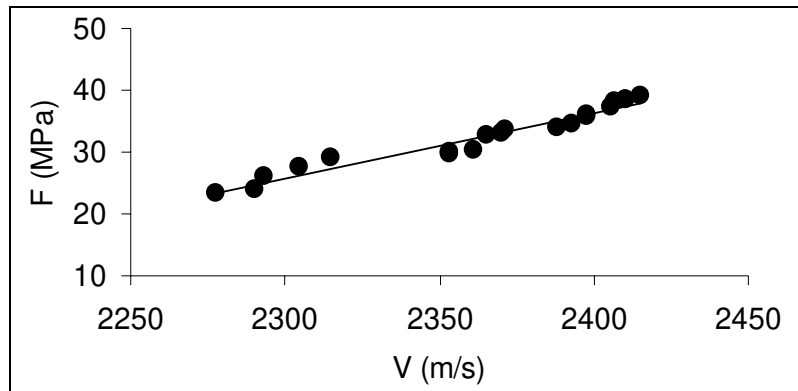


Figura 4.53 - R² entre VOC e MOR das chapas da CE5.

VOS x MOR

$$y = 0,0723x - 141,45 \quad R^2 = 0,97$$

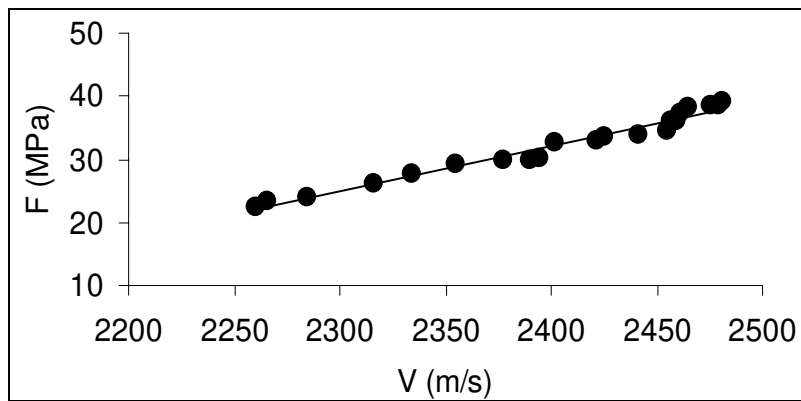


Figura 4.54 - R² entre VOS e MOR das chapas da CE5.

VOC' x MOR

$$y = 0,0062x - 27,271 \quad R^2 = 0,95$$

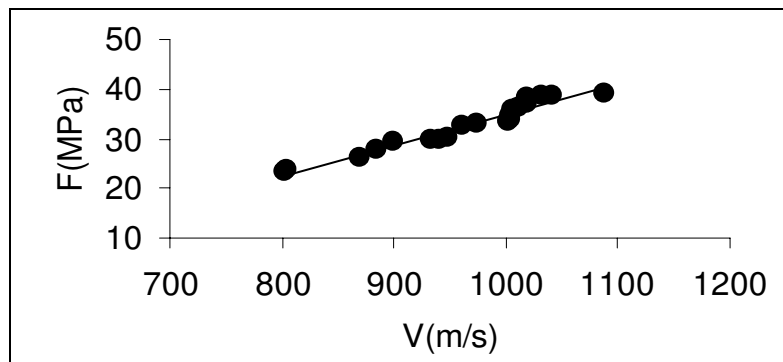


Figura 4.55 - R² entre VOC' e MOR das chapas da CE5.

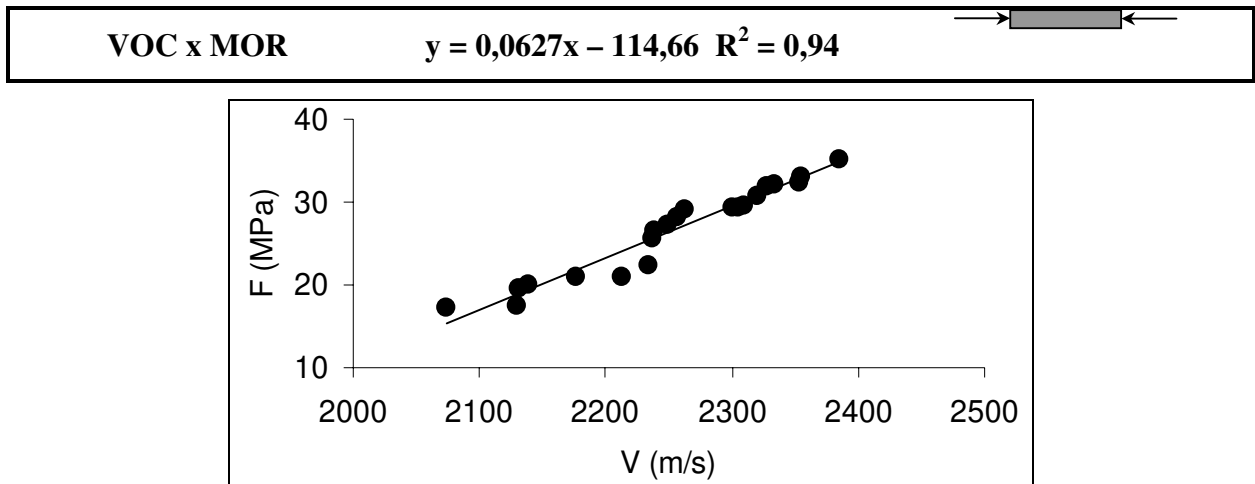


Figura 4.56 - R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE6.

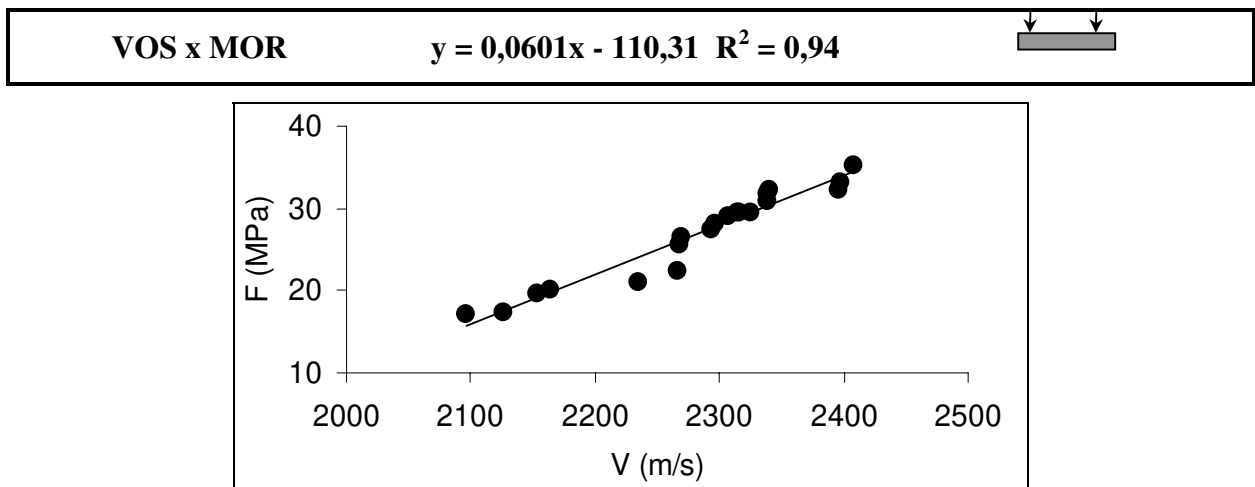


Figura 4.57 - R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE6.

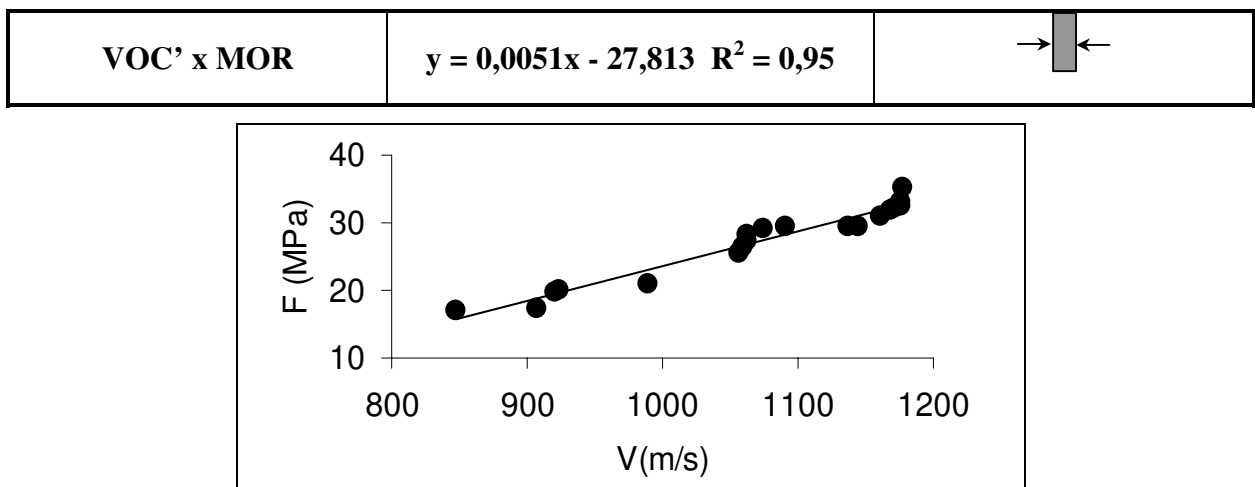


Figura 4.58 - R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE6.

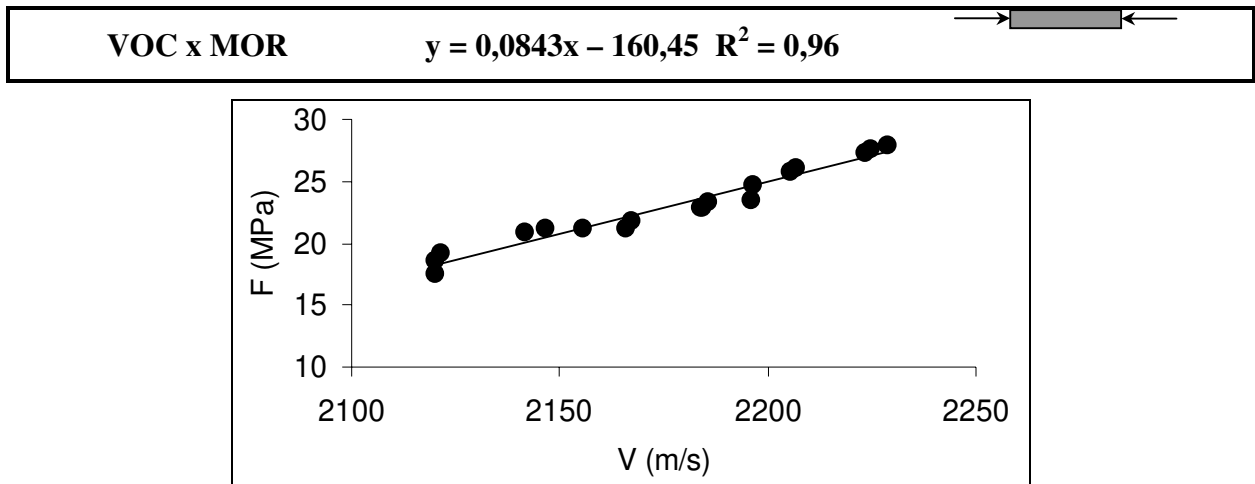


Figura 4.59 - R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE7.

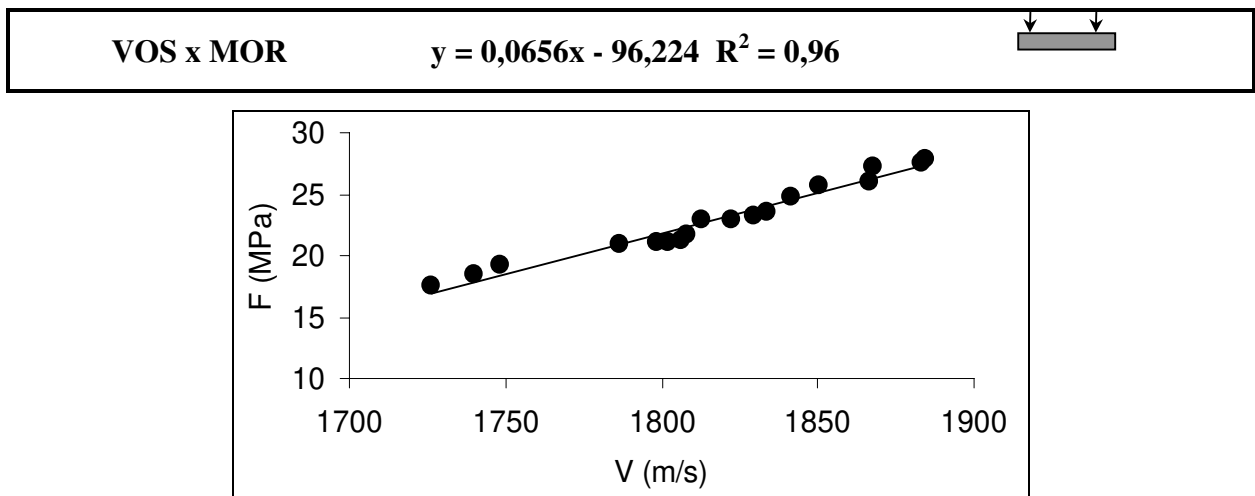


Figura 4.60 - R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE7.

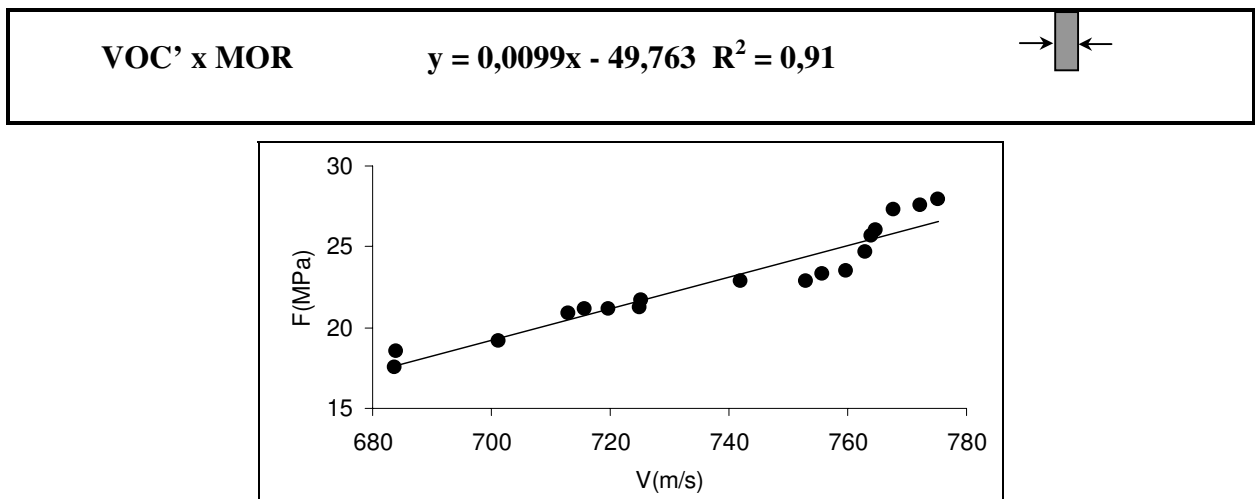


Figura 4.61 - R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE7.

Nas figuras 4.62 a 4.73 estão apresentados os R^2 entre VOC, VOS, VOC' e os MOE das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.

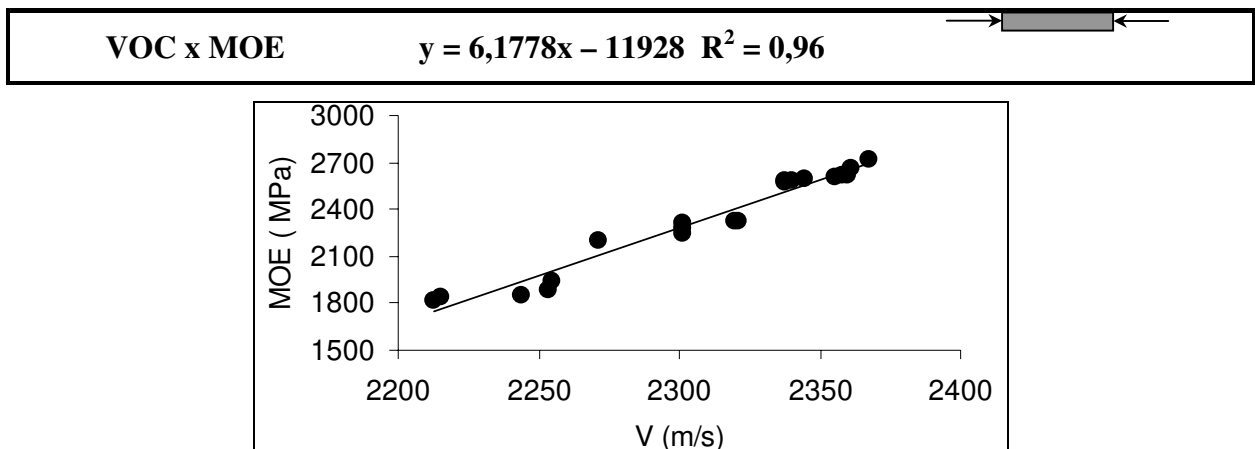


Figura 4.62 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE3.

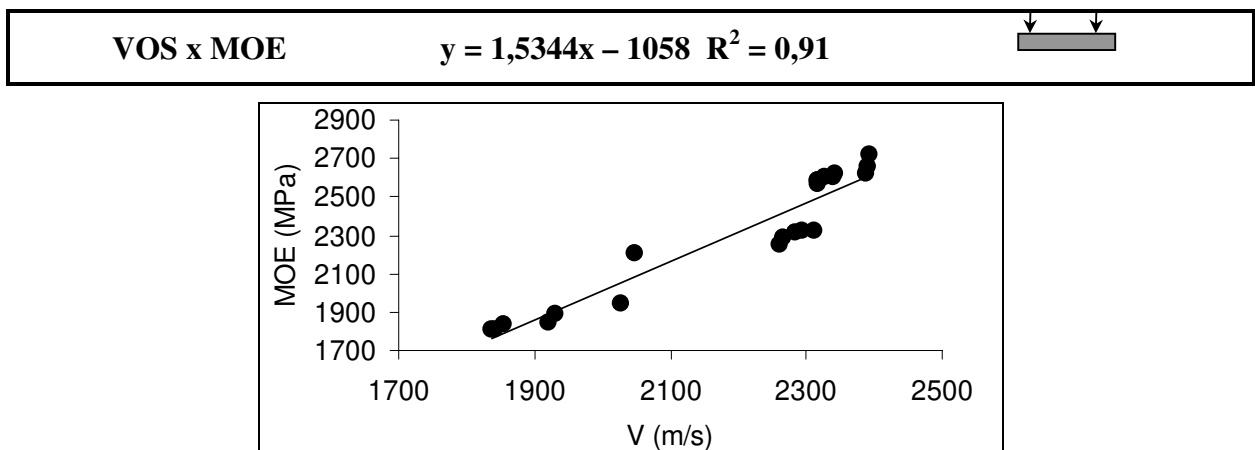


Figura 4.63 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE3.

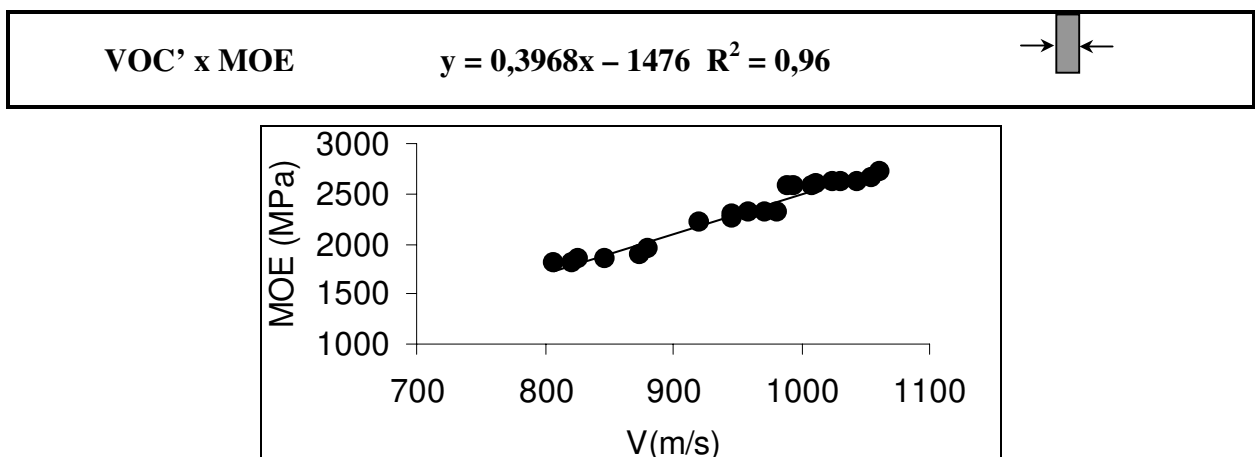


Figura 4.64 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE3.

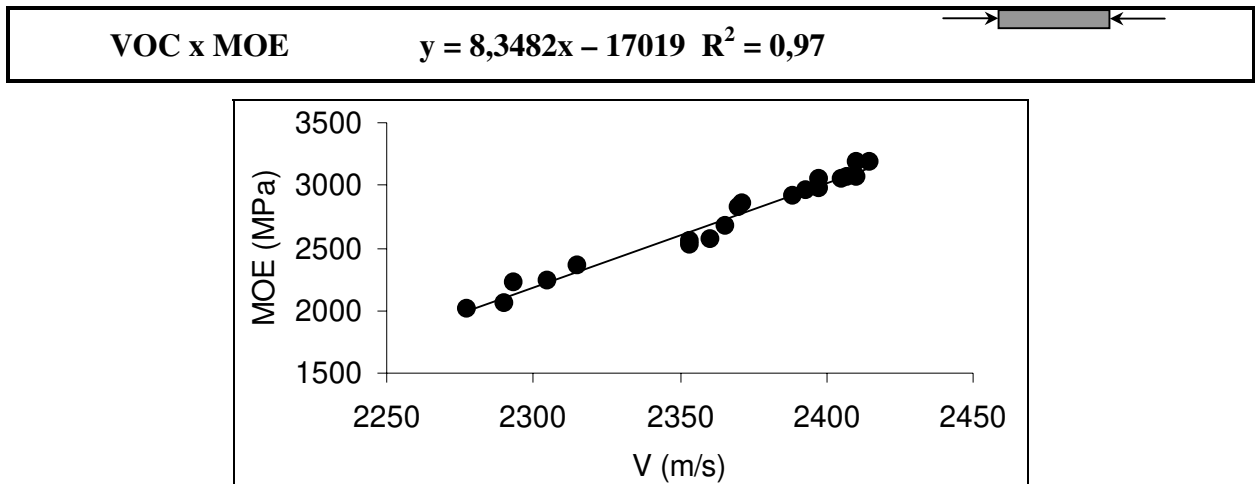


Figura 4.65 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE5.

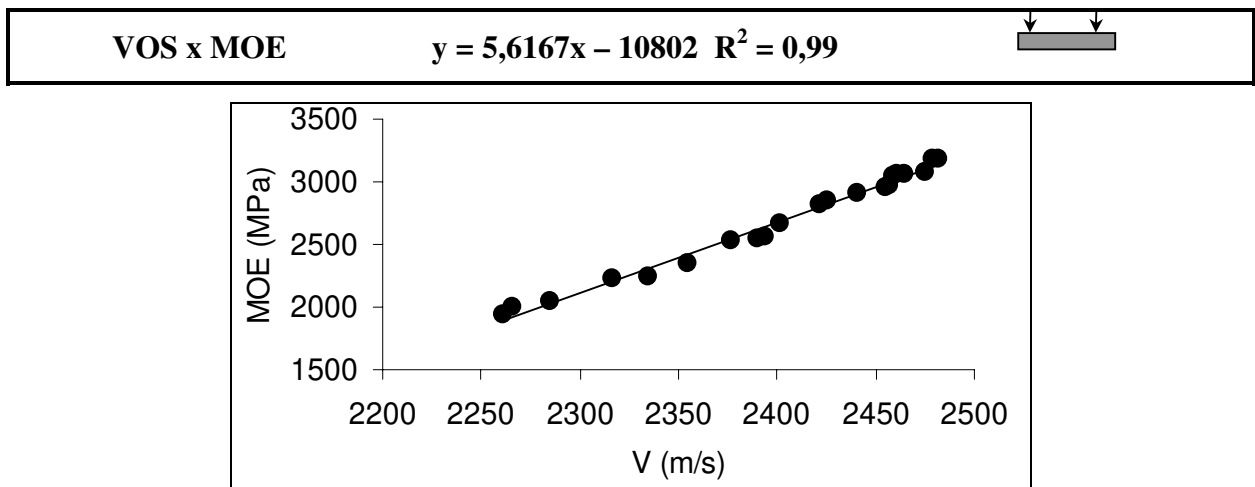


Figura 4.66 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE5.

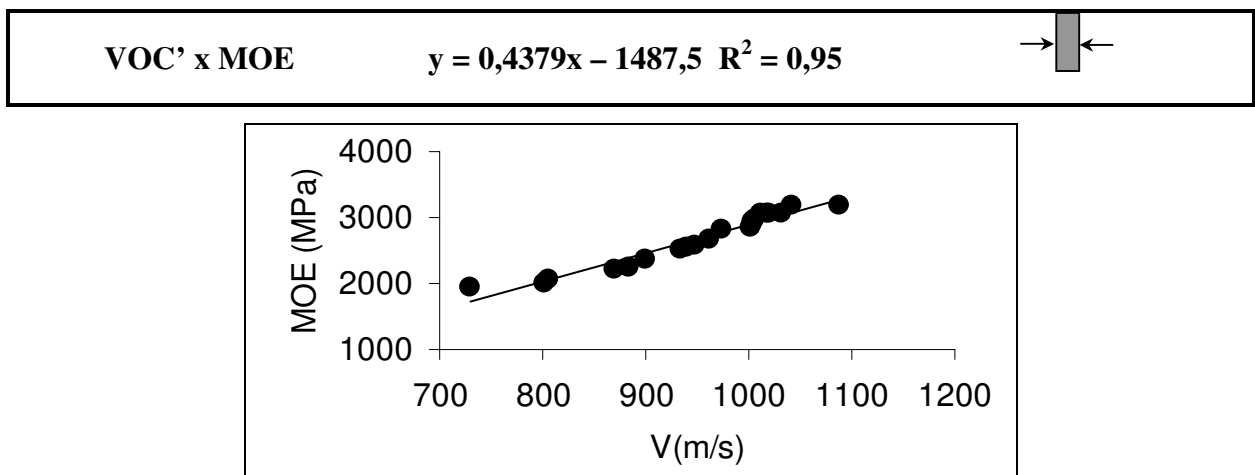


Figura 4.67 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE5.

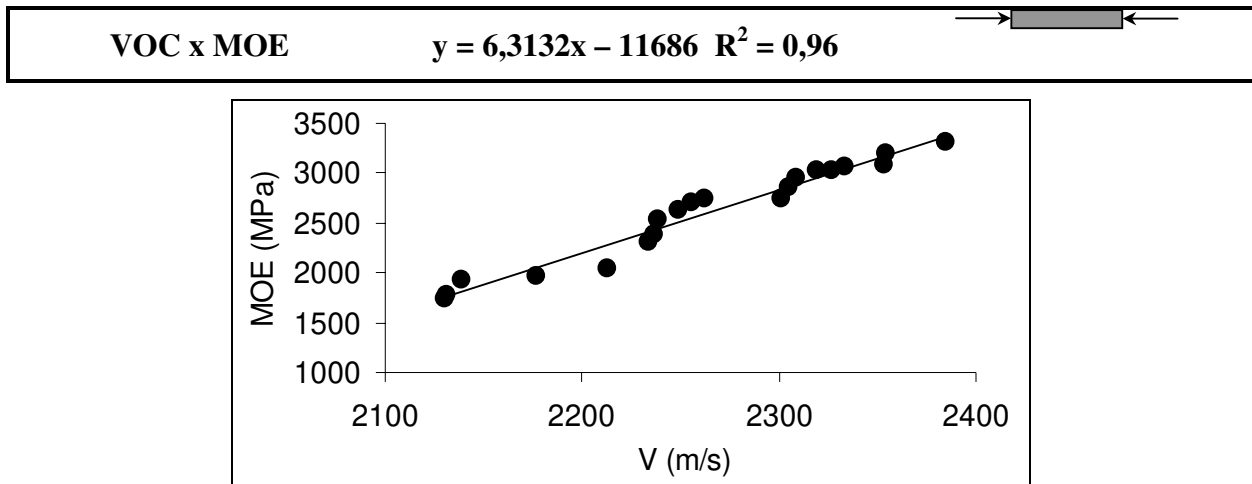


Figura 4.68 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE6.

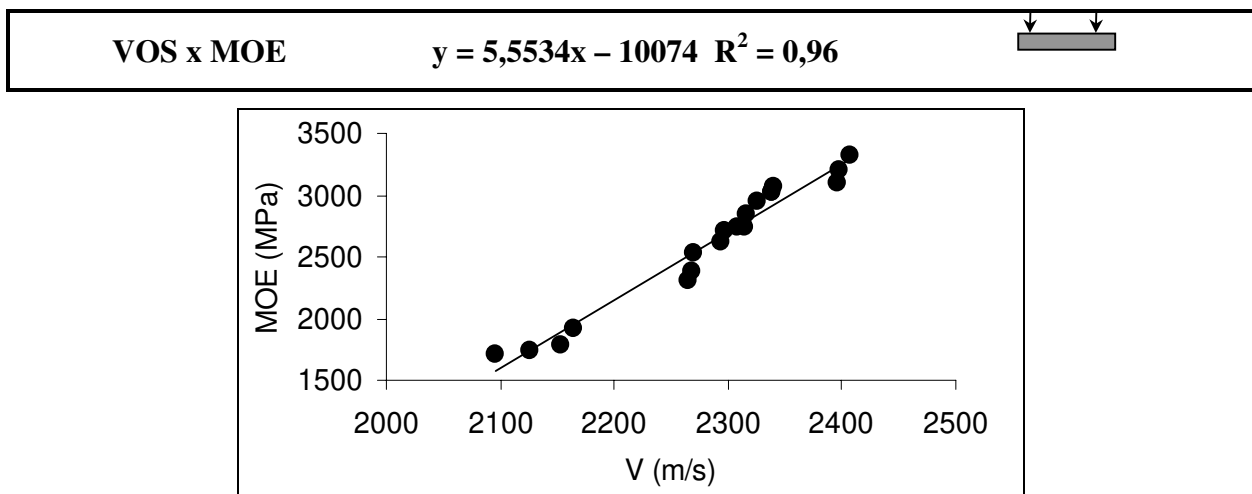


Figura 4.69 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE6.

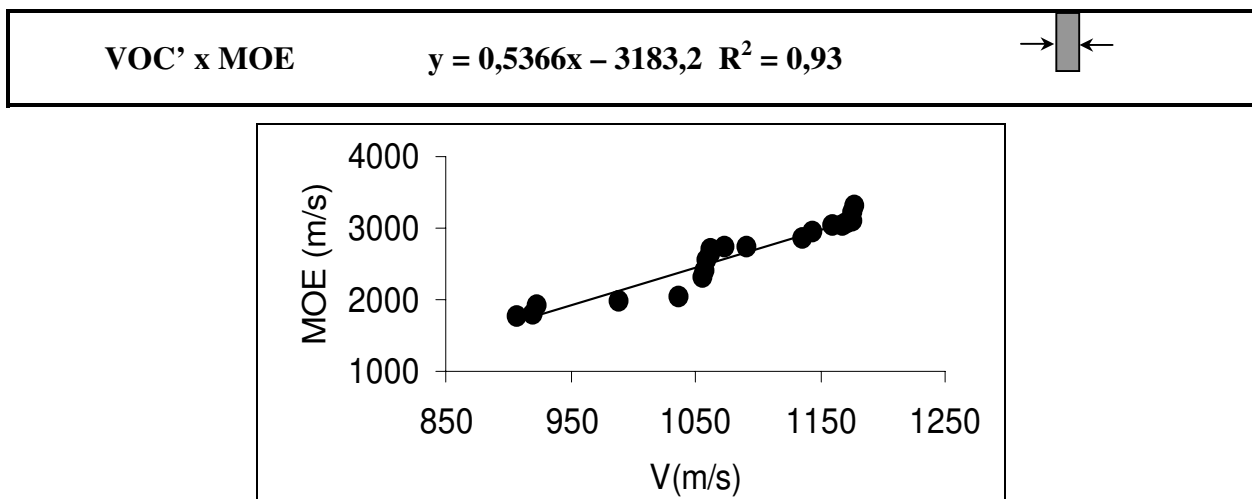


Figura 4.70 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE6.

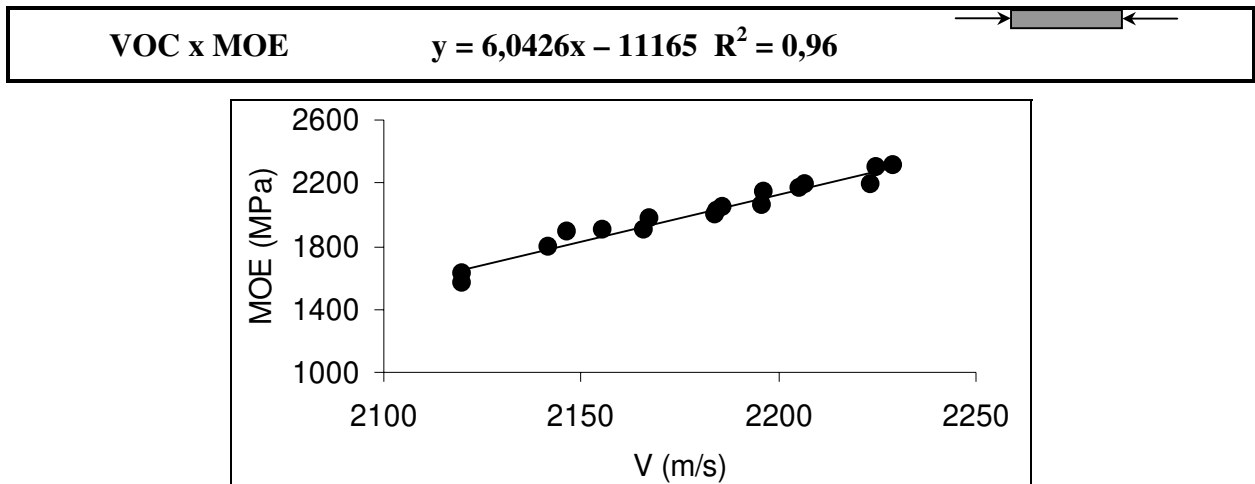


Figura 4.71 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE7.

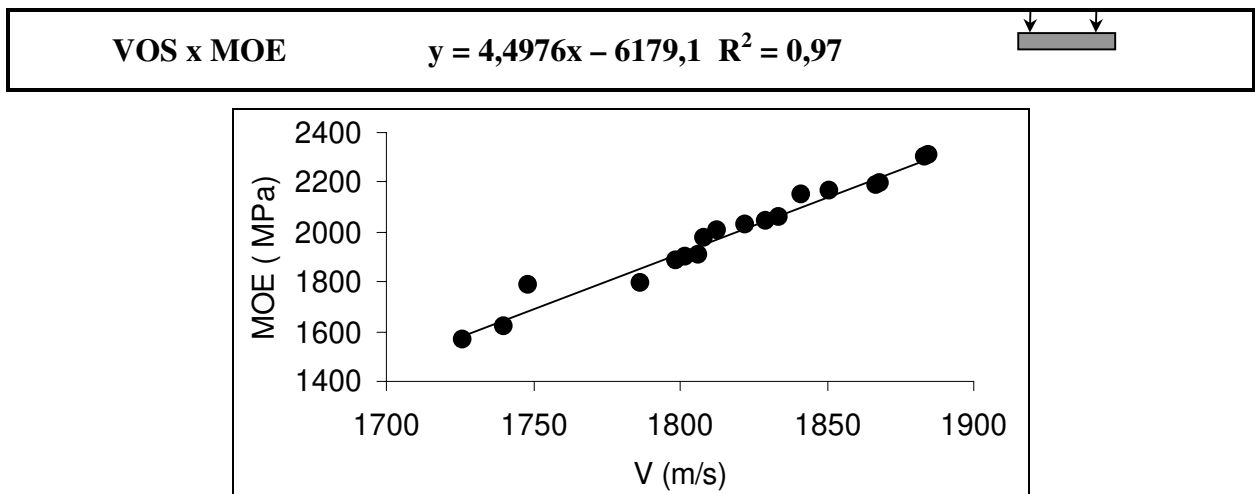


Figura 4.72 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE7.

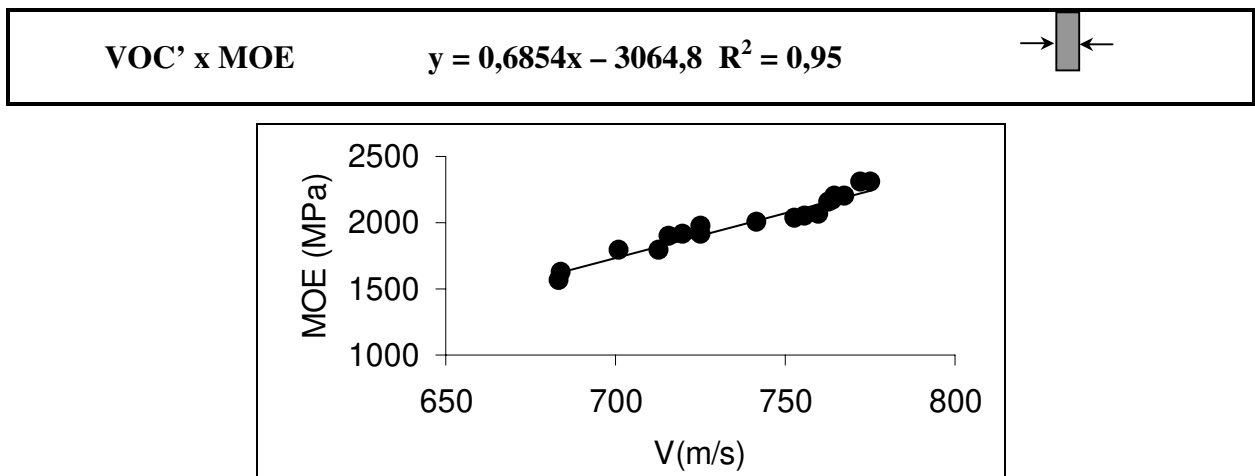


Figura 4.73 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE7.

Nas Figuras 4.74 a 4.85 estão apresentados os coeficientes de determinação R^2 entre VOC, VOS, VOC' e o TP das chapas das CE 3, 5, 6 e 7.

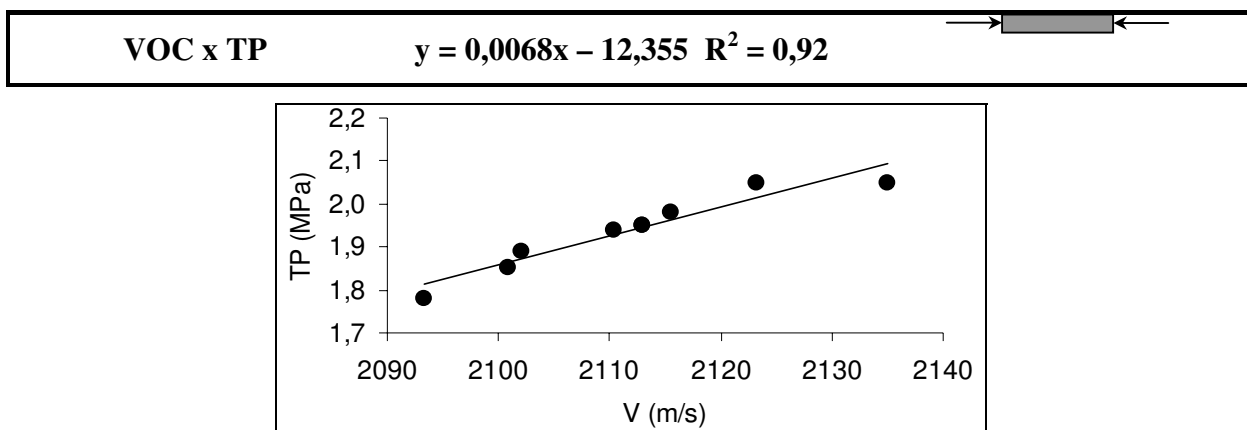


Figura 4.74 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE3.

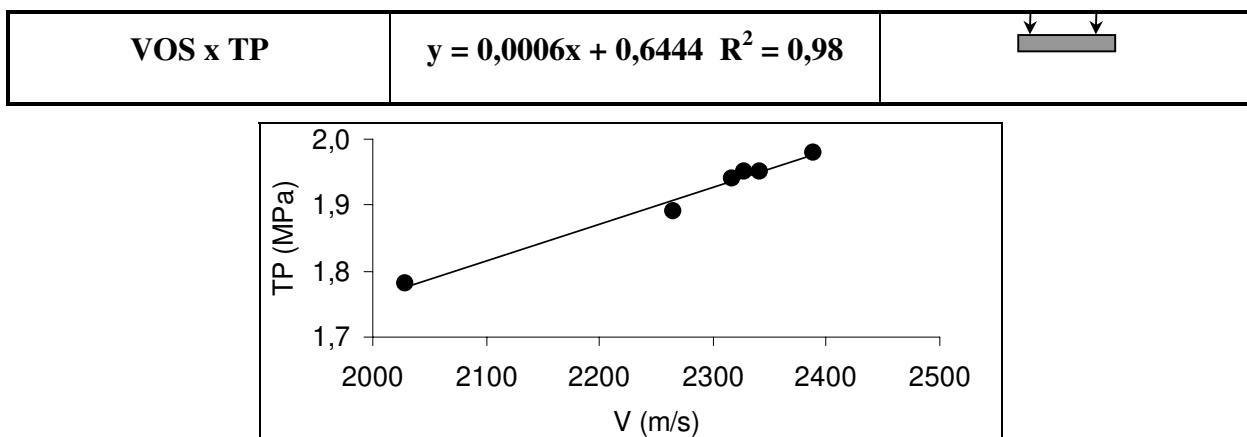


Figura 4.75 - R^2 entre VOS e TP das chapas da CE3.

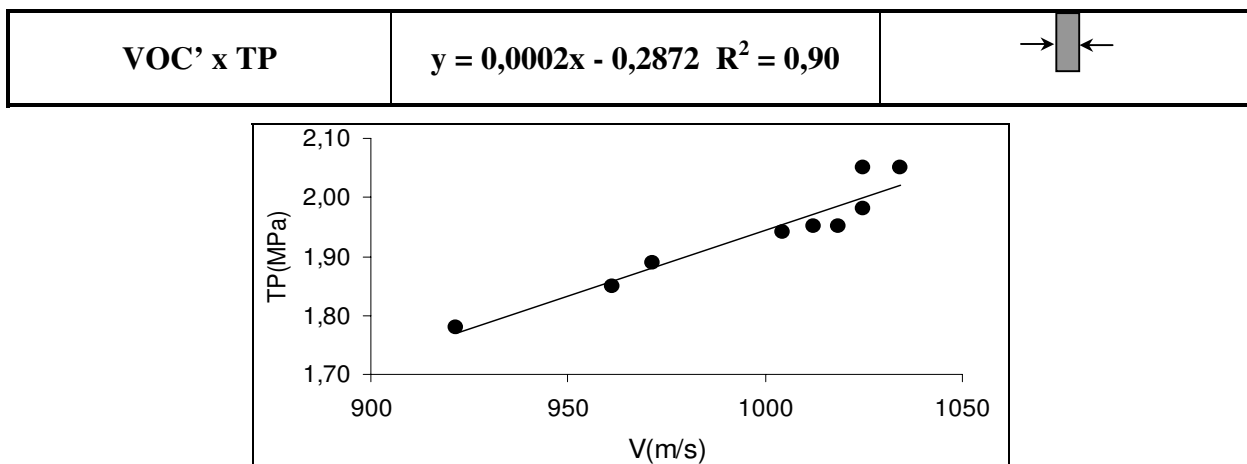


Figura 4.76 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE3.

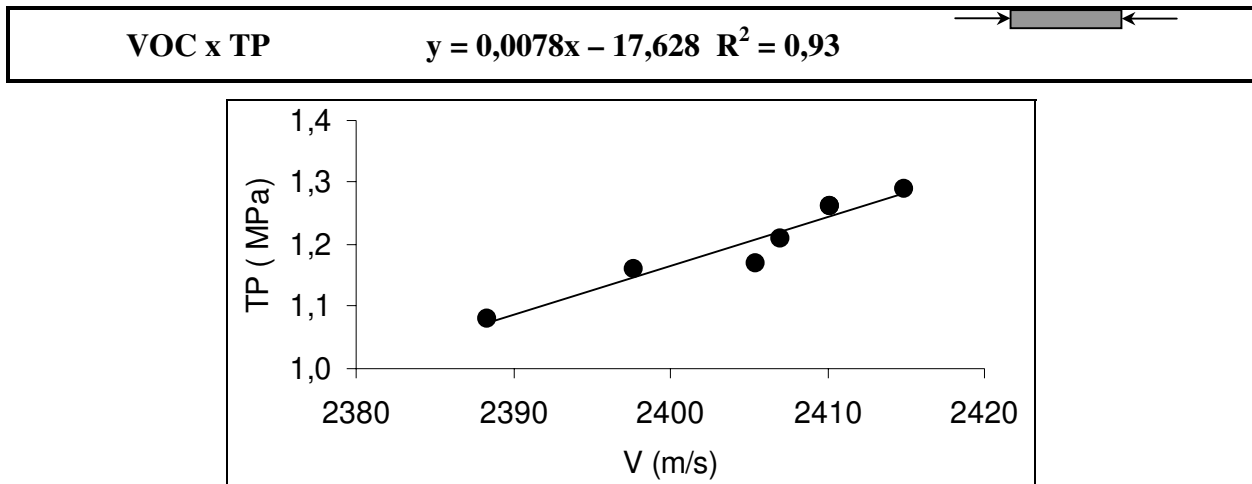


Figura 4.77 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE5.

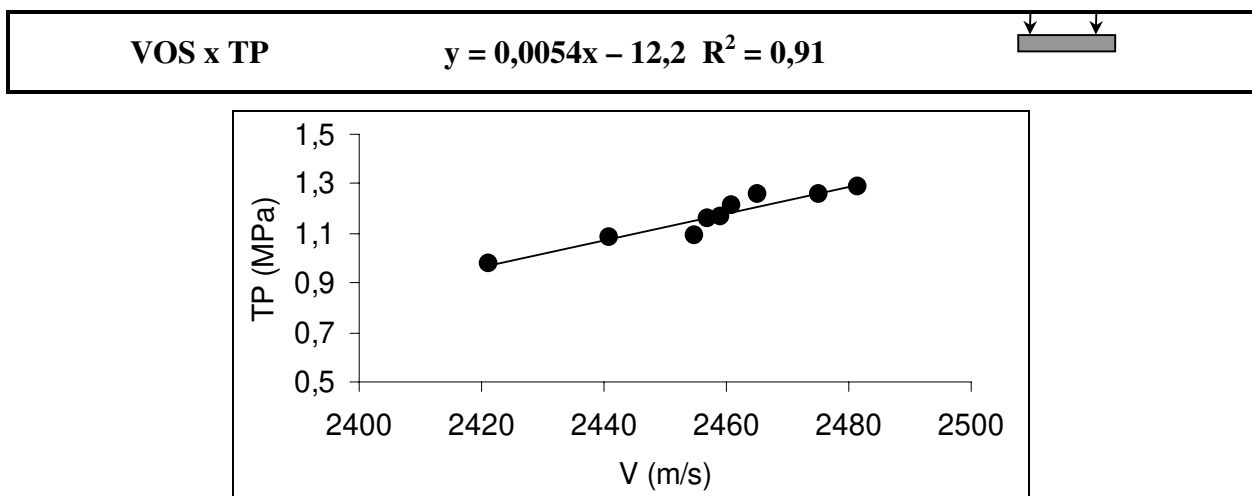


Figura 4.78 - R^2 entre VOS e TP das chapas da CE5.

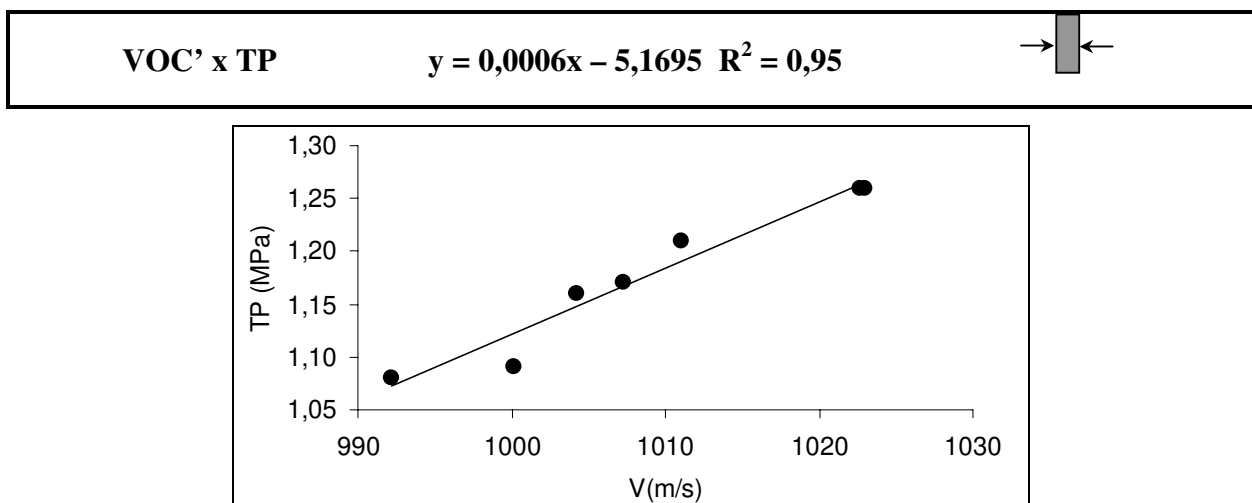


Figura 4.79 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE5.

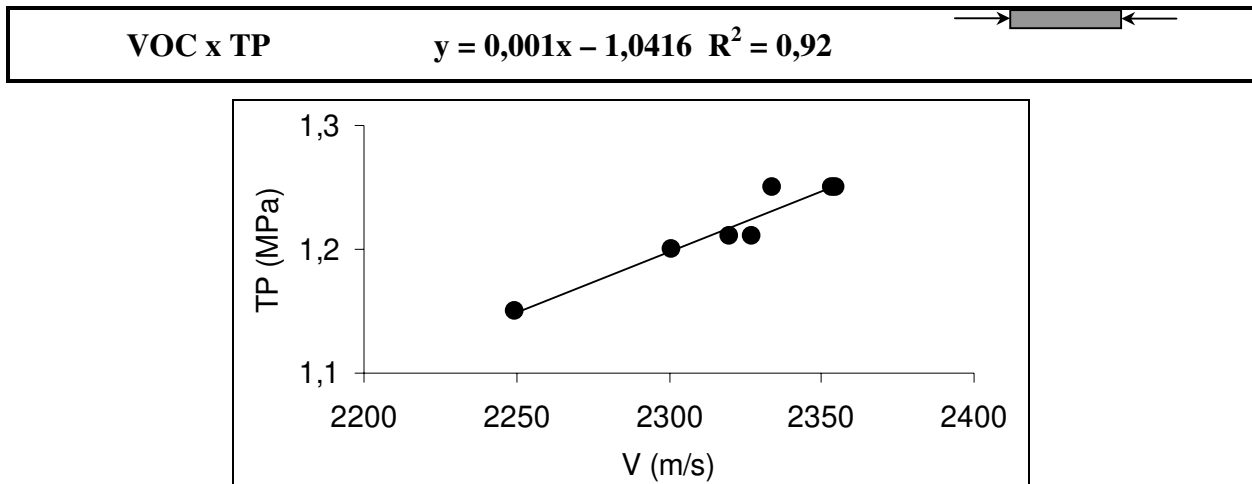


Figura 4.80 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE6.

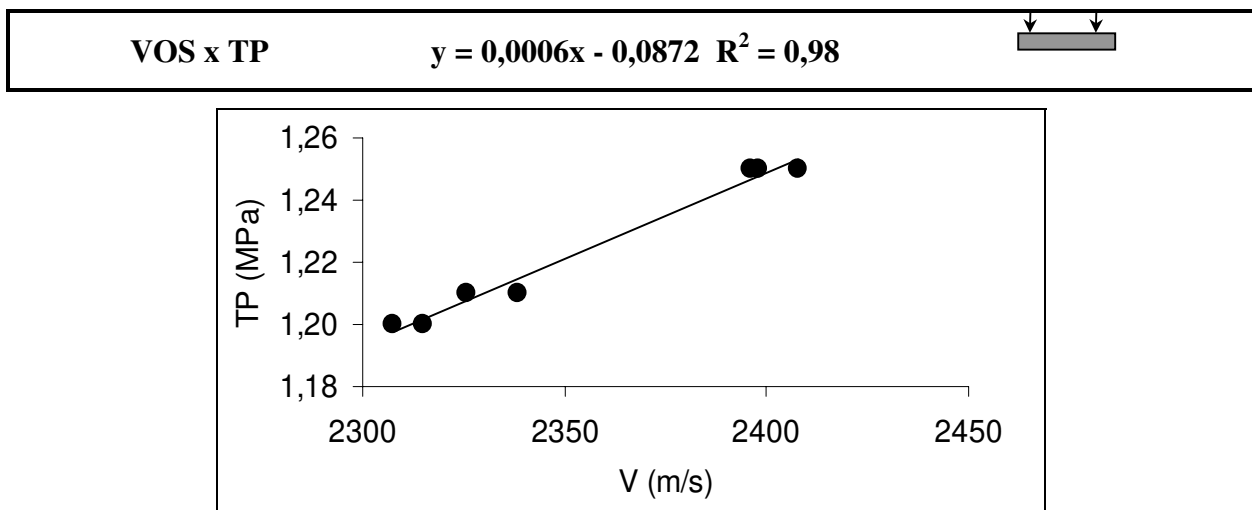


Figura 4.81 - R^2 entre VOS e TP das chapas da CE6.

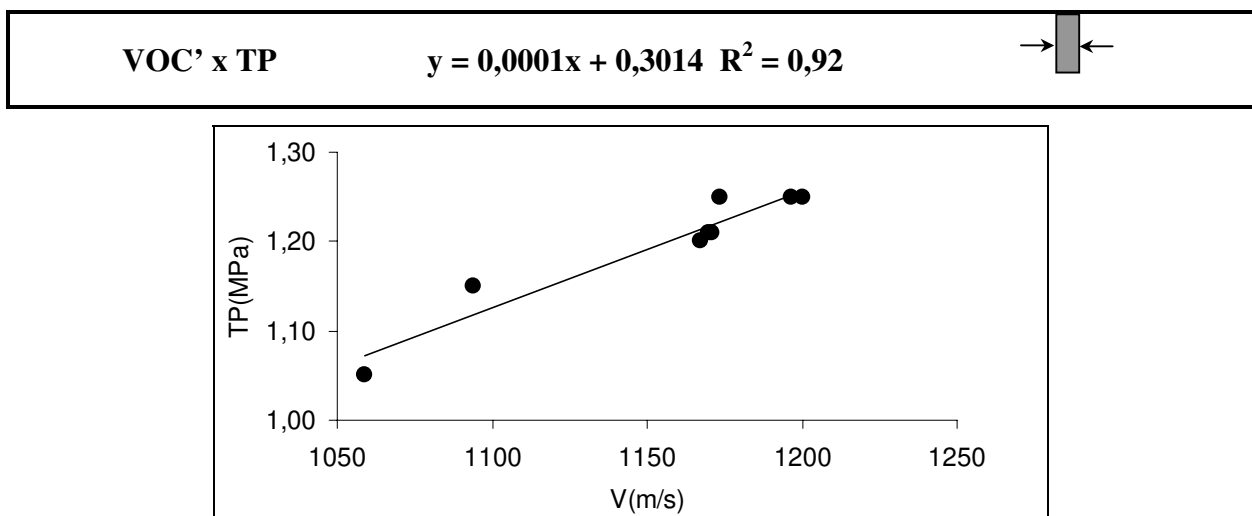


Figura 4.82 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE6.

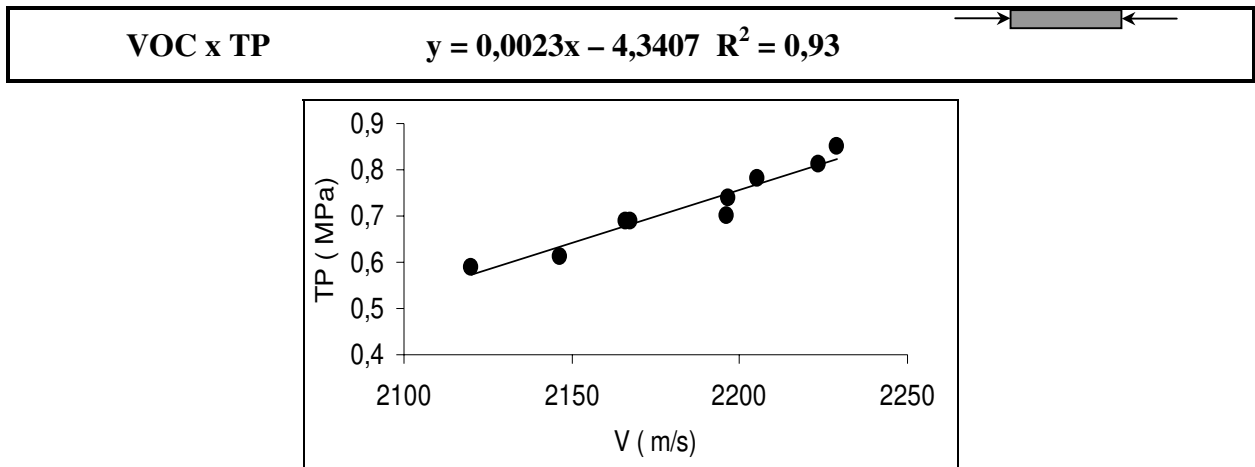


Figura 4.83 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE7.

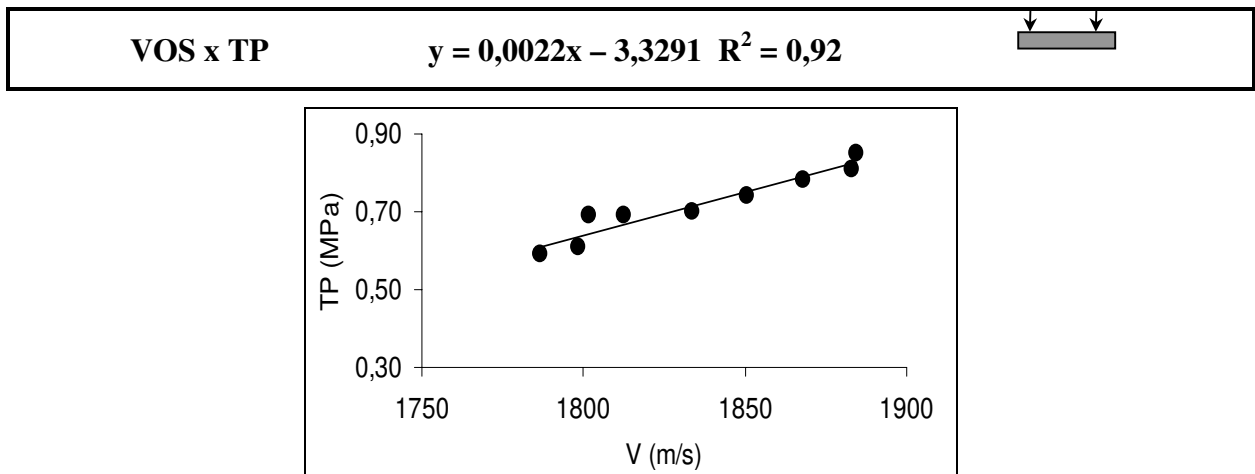


Figura 4.84 - R^2 entre VOS e TP das chapas da CE7.

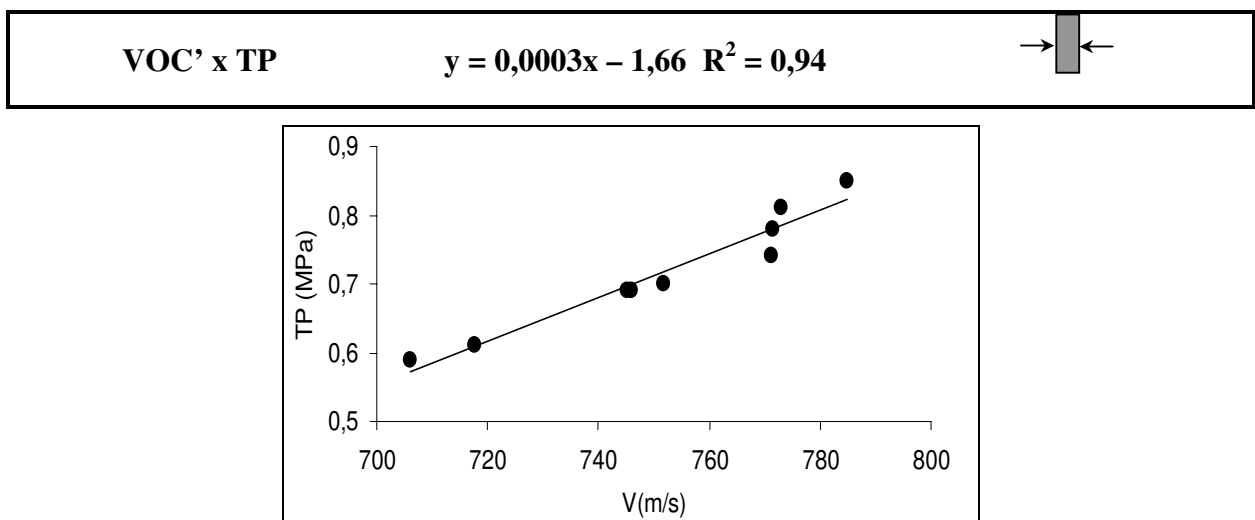


Figura 4.85 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE7.

Na tabela 4.4 estão apresentados os coeficientes de determinação R^2 entre as velocidades das ondas e as propriedades das chapas, conforme ilustrados nos gráficos das figuras 4.38 a 4.85.

Os coeficientes de determinação R^2 , apresentados na tabela 4.6, são significativos e indicam a possibilidade de utilização das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas para caracterização das propriedades das chapas.

Tabela 4.4 – Coeficientes de determinação (R^2) entre as velocidades das ondas ultra-sônicas e as propriedades das chapas.

	Coeficientes de determinação (R^2)											
	→ ←				↓ ↓				→ ←			
	CE3	CE5	CE6	CE7	CE3	CE5	CE6	CE7	CE3	CE5	CE6	CE7
VO x D	0,94	0,87	0,97	0,97	0,84	0,83	0,86	0,93	0,94	0,94	0,97	0,97
VO x MOR	0,97	0,95	0,94	0,96	0,91	0,97	0,94	0,96	0,99	0,95	0,95	0,91
VO x MOE	0,96	0,97	0,96	0,96	0,91	0,99	0,96	0,97	0,96	0,95	0,93	0,95
VO x TP	0,92	0,93	0,92	0,93	0,98	0,91	0,98	0,92	0,90	0,95	0,92	0,94

Ao se analisar os procedimentos para obtenção das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas, os ensaios não-destrutivos possibilitam rápidas determinações, enquanto que os procedimentos para obtenção das propriedades físicas e mecânicas das chapas, por meio de ensaios destrutivos são comparativamente mais lentos. Os ensaios não-destrutivos, com relação à variação da velocidade de propagação das ondas ultra-sônica permitiram, ainda, inferir sobre a densidade das chapas.

Nas figuras 4.86 a 4.97 estão apresentados os coeficientes de determinação (R^2) entre as constantes dinâmicas (**CTE**) e os módulos de resistência à flexão estática (**MOR**) das chapas das CE 3, 5, 6 e 7. Essas **CTE** foram obtidas por meio de transdutores de faces exponenciais, responsáveis pela geração de ondas de compressão na direção *y* das chapas (**CTEOC**); transdutores de faces planas, responsáveis pela geração de ondas de superfícies nas direções *y* das chapas (**CTEOS**); transdutores de faces planas, responsáveis pela geração de ondas de compressão na direção *z* das chapas (**CTEOC'**).

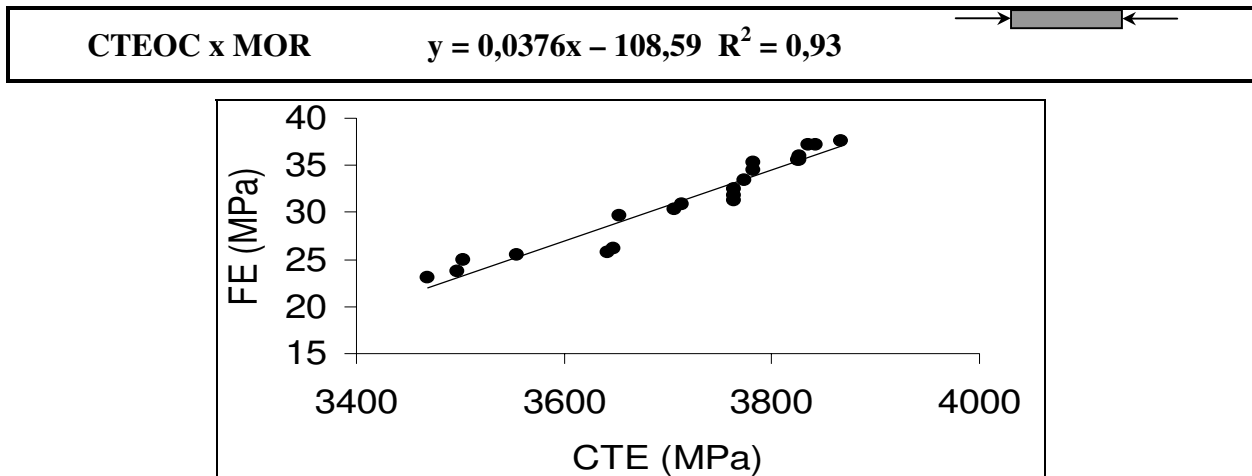


Figura 4.86 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE3.

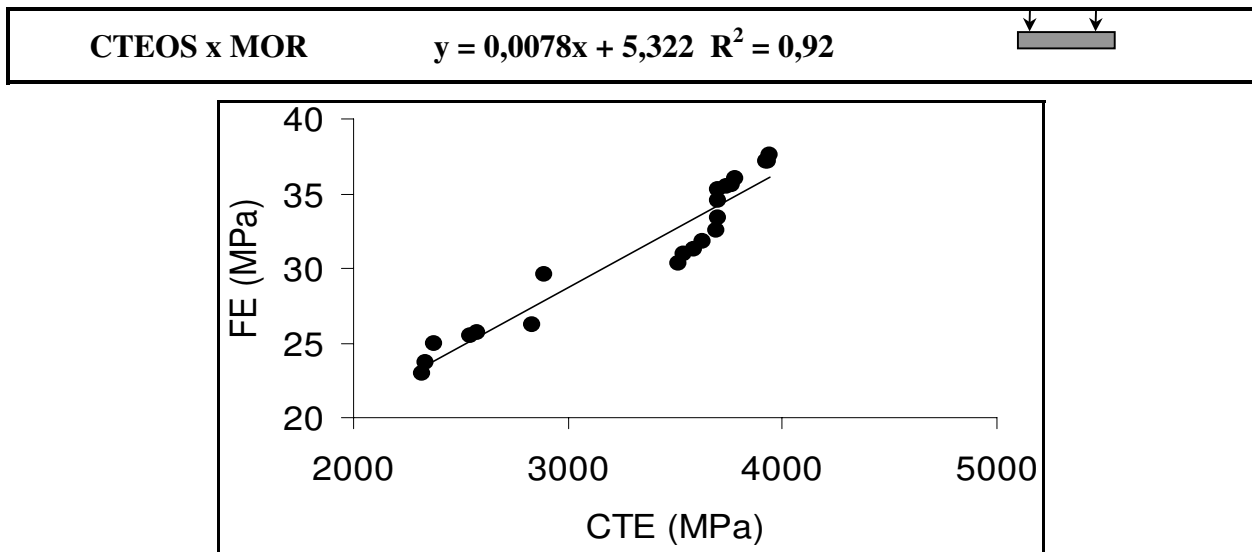


Figura 4.87 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE3.

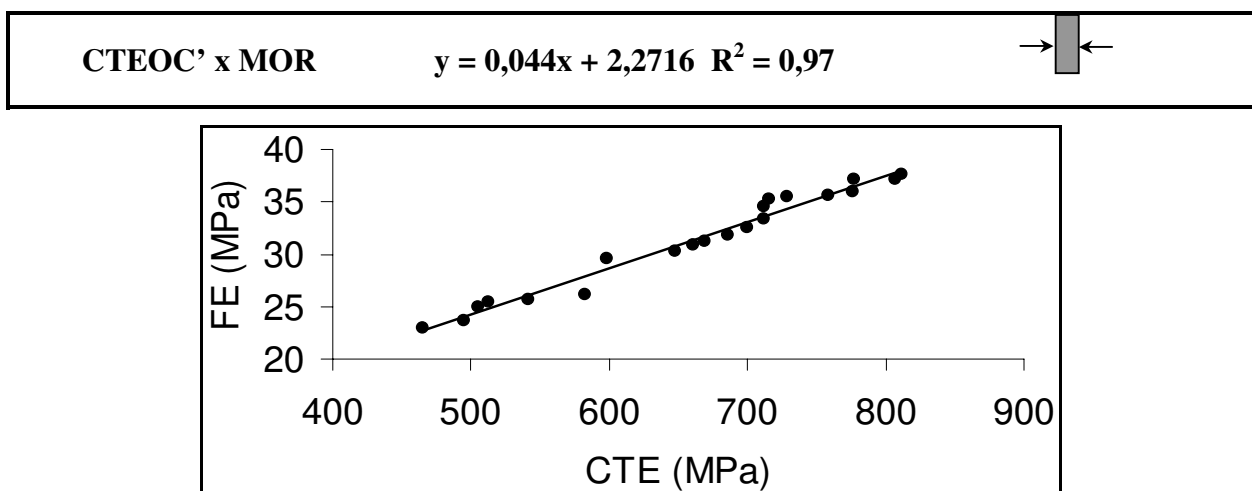


Figura 4.88 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE3.

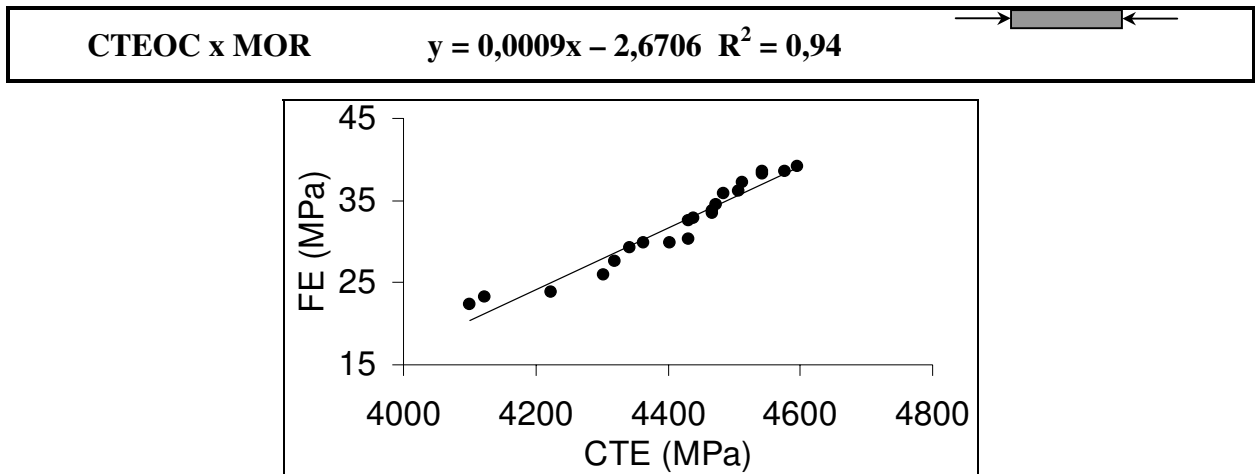


Figura 4.89 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE5.

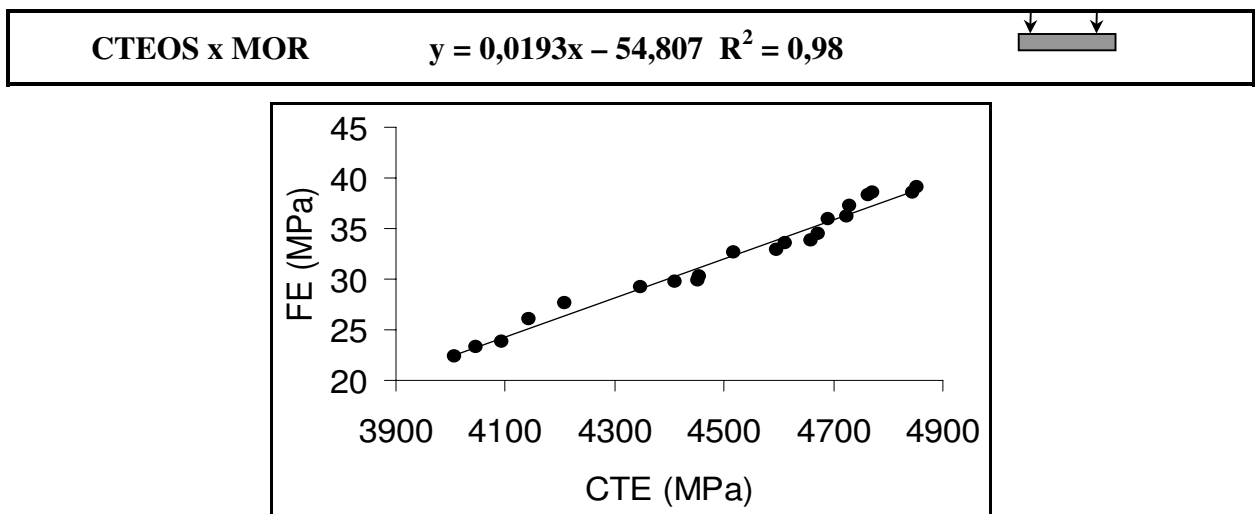


Figura 4.90 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE5.

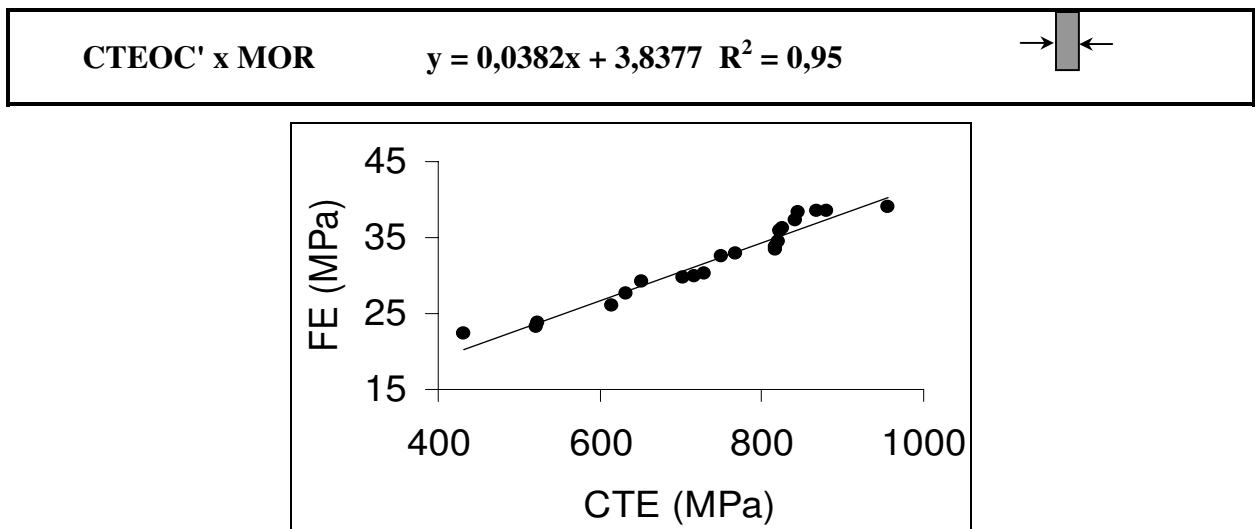


Figura 4.91 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE5.

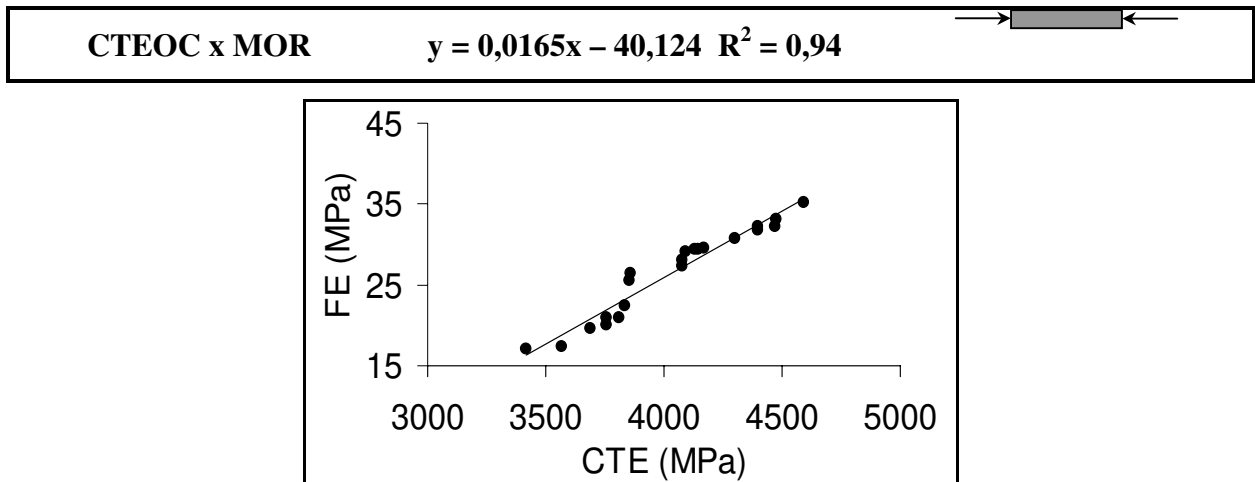


Figura 4.92 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE6.

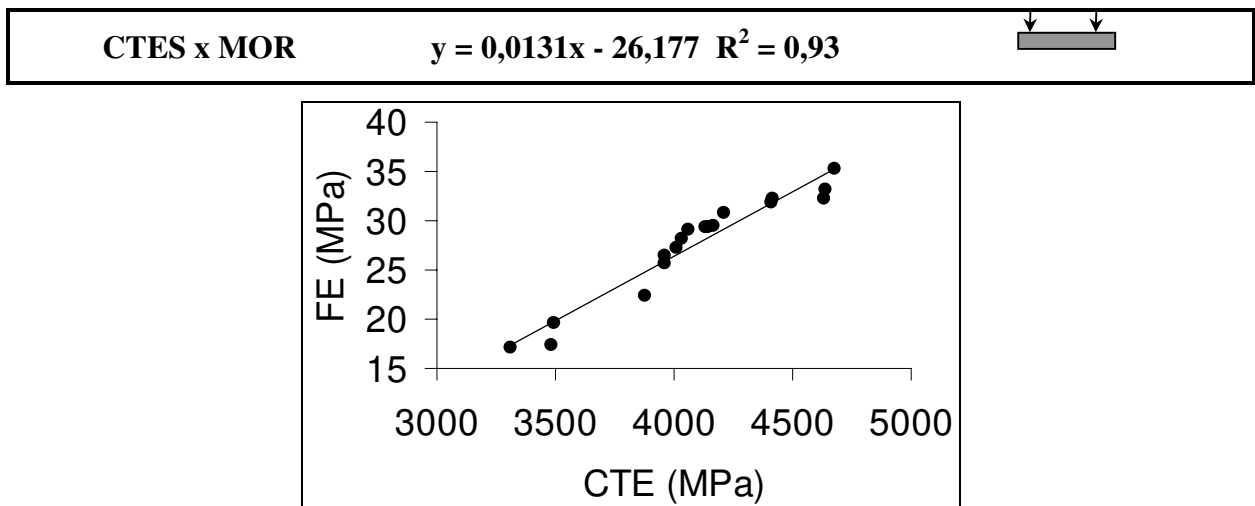


Figura 4.93 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE6.

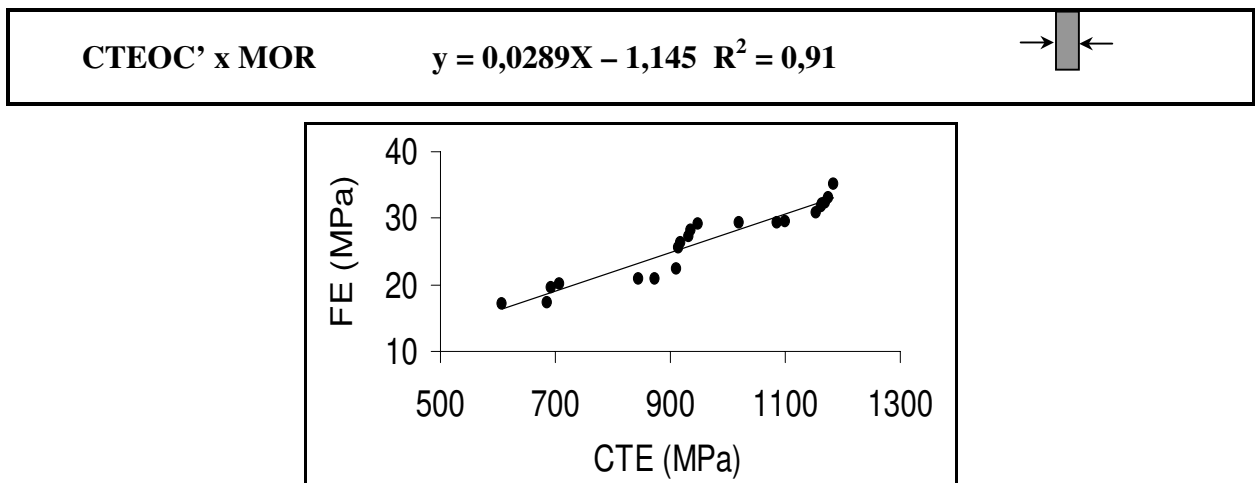


Figura 4.94 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE6.

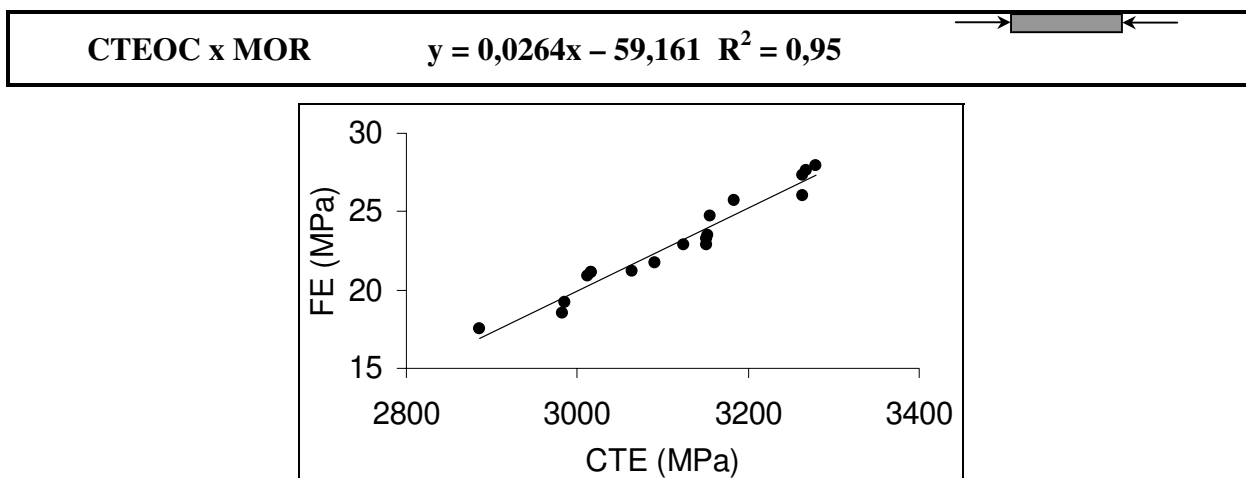


Figura 4.95 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE7.

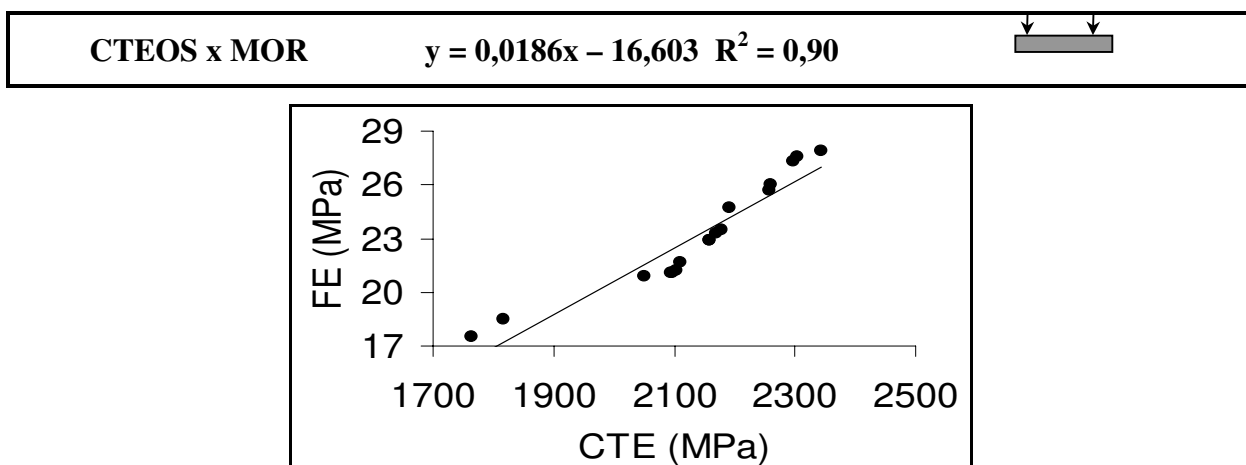


Figura 4.96 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE7.

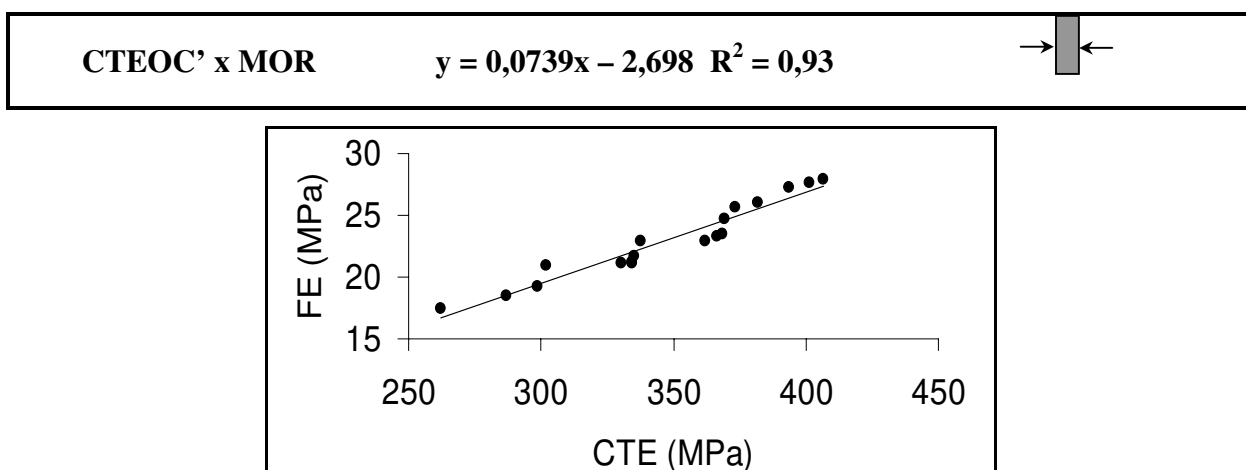


Figura 4.97 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE7.

Nas figuras 4.98 a 4.121 estão apresentados os coeficientes de determinação (R^2) entre as constantes dinâmicas (CTEOC, CTEOS, CTEOC') e módulo de elasticidade (MOE). Neste caso, observou-se proximidade na grandeza numérica entre os valores dessas variáveis, conseqüentemente, foram realizadas análises nas chapas de todas as CE.

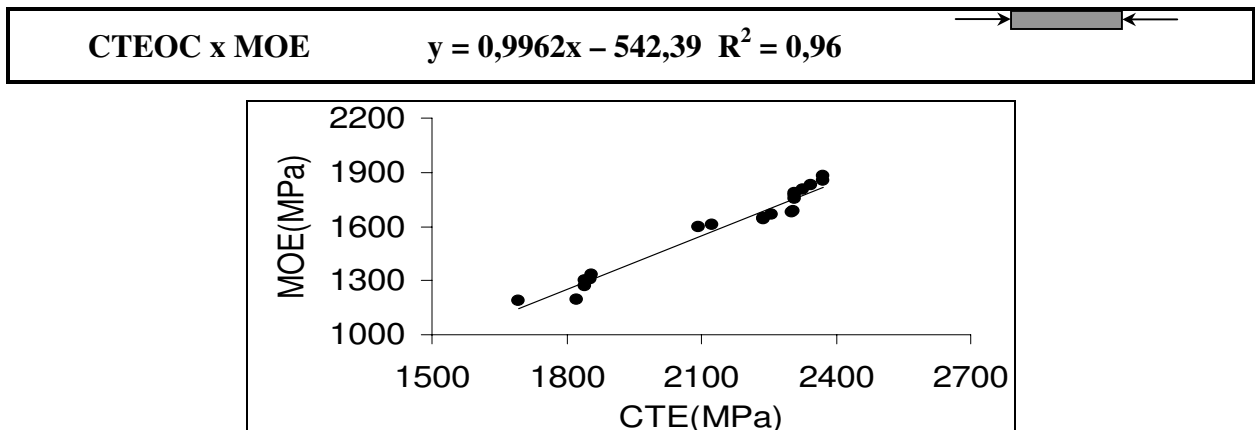


Figura 4.98 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE1.

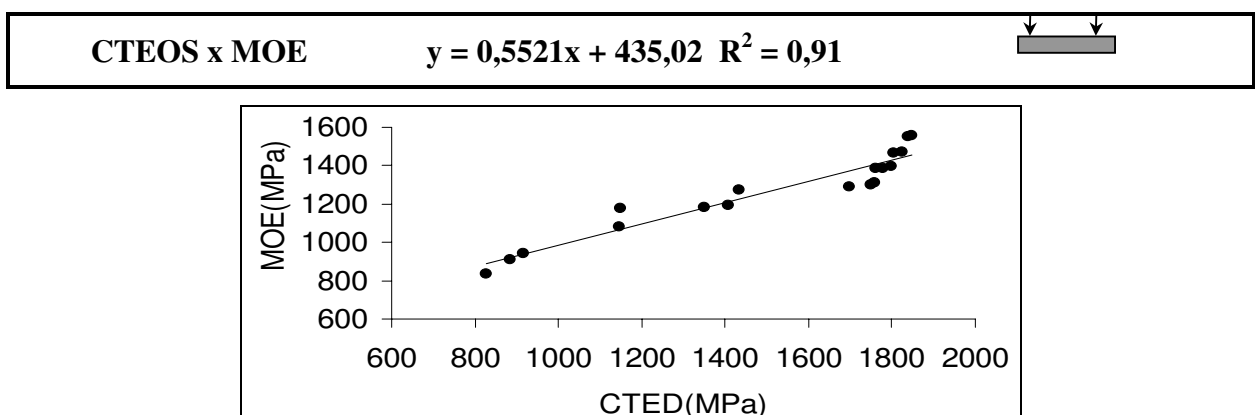


Figura 4.99 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE1.

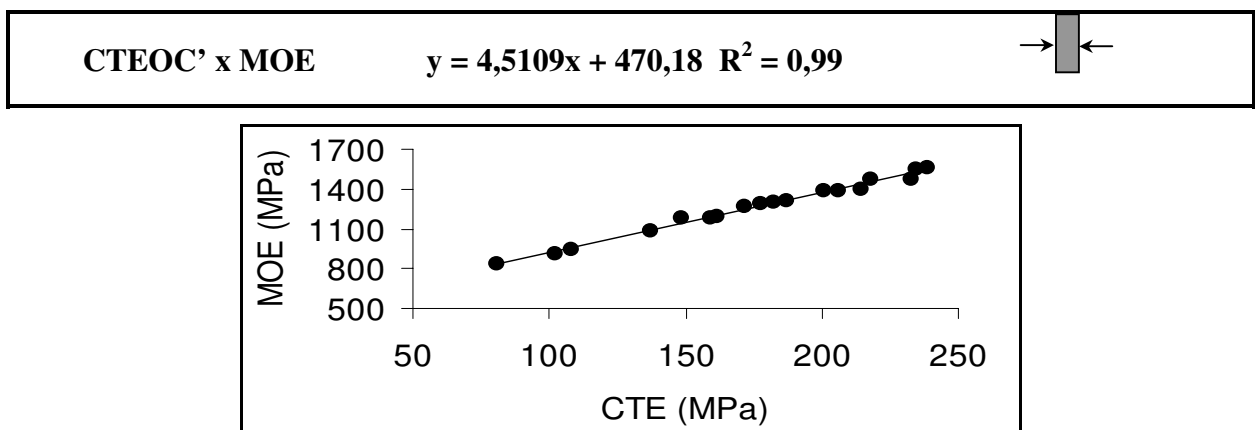


Figura 4.100 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE1.

CTEOC x MOE $y = 3,2018x - 8696,6 \quad R^2 = 0,93$

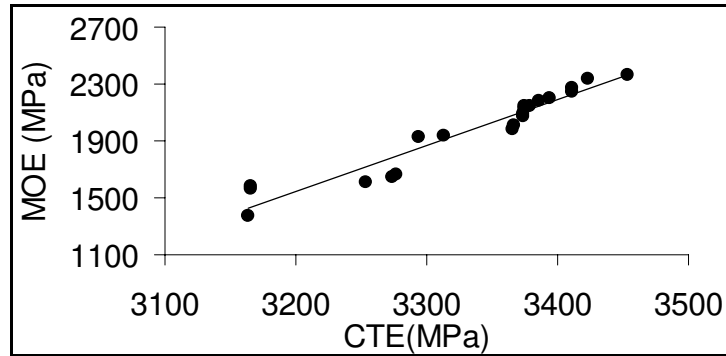


Figura 4.101 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE2.

CTEOS x MOE $y = 1,292x - 1268,1 \quad R^2 = 0,92$

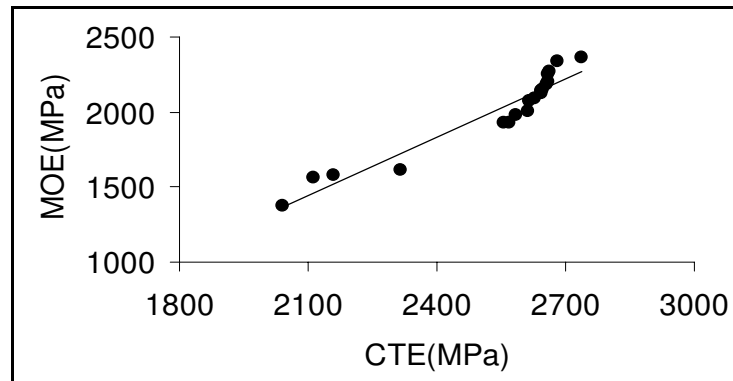


Figura 4.102 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE2.

CTEOC' x MOE $y = 3,7044 + 465,88 \quad R^2 = 0,98$

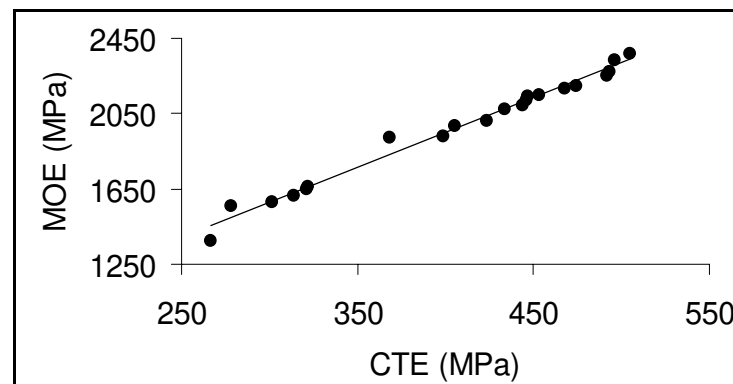


Figura 4.103 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE2.

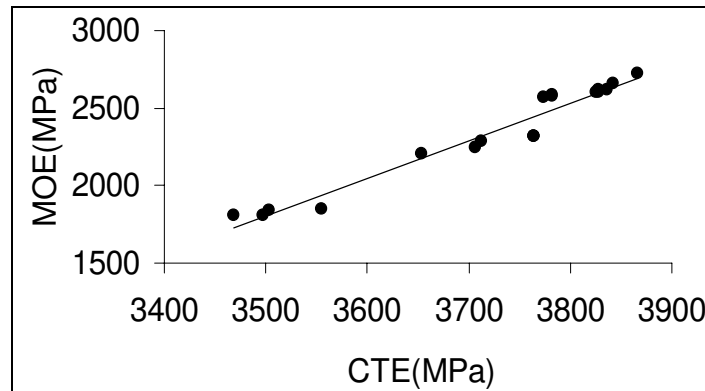
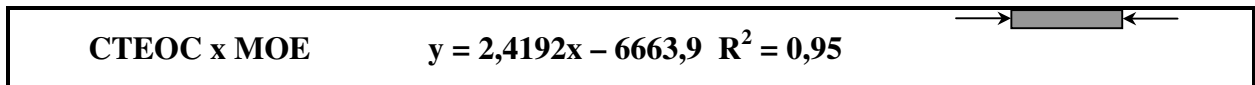


Figura 4.104 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE3.

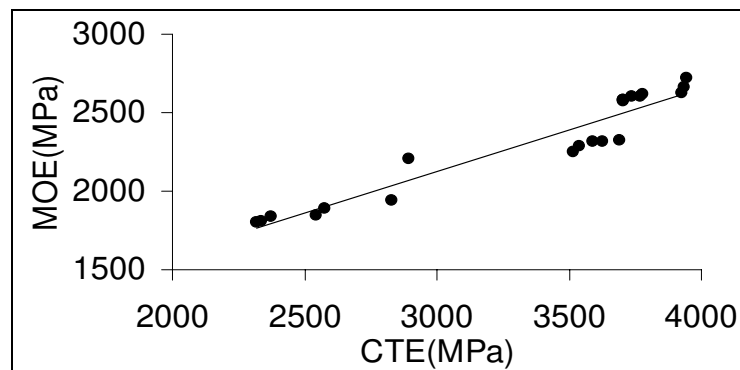
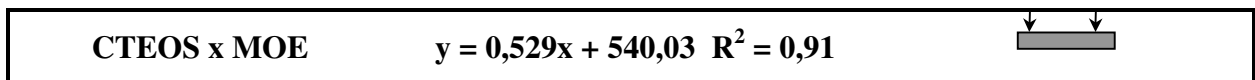


Figura 4.105 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE3.

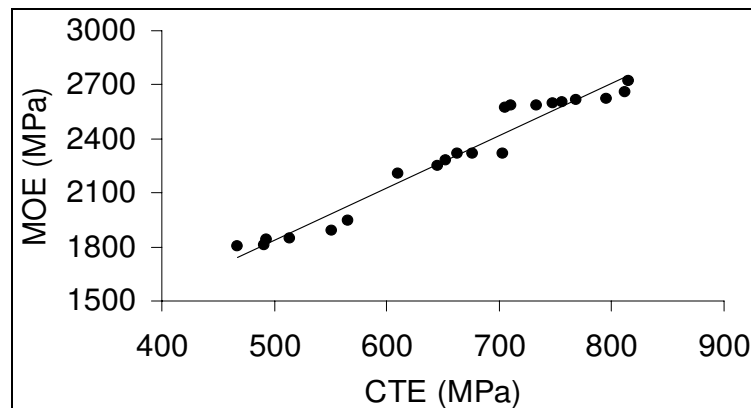
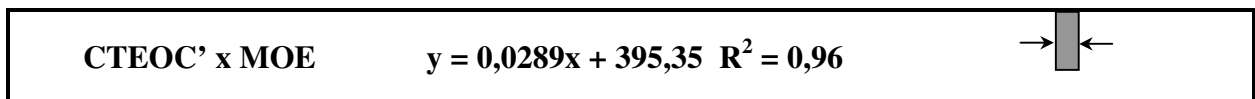


Figura 4.106 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE3.

CTEOC x MOE $y = 1,4126x - 1783,5$ $R^2 = 0,98$

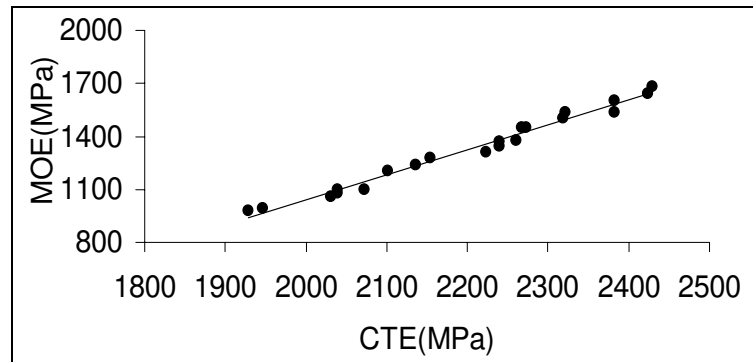


Figura 4.107 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE4.

CTEOS x MOE $y = 1,6349x - 1448,8$ $R^2 = 0,97$

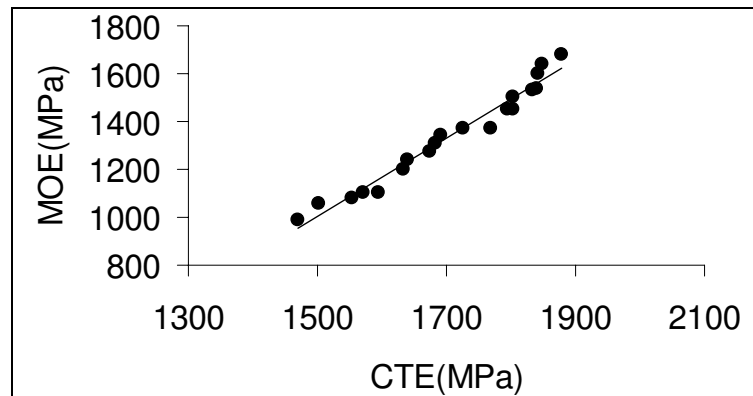


Figura 4.108 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE4.

CTEOC' x MOE $y = 3,8613x + 369,85$ $R^2 = 0,97$

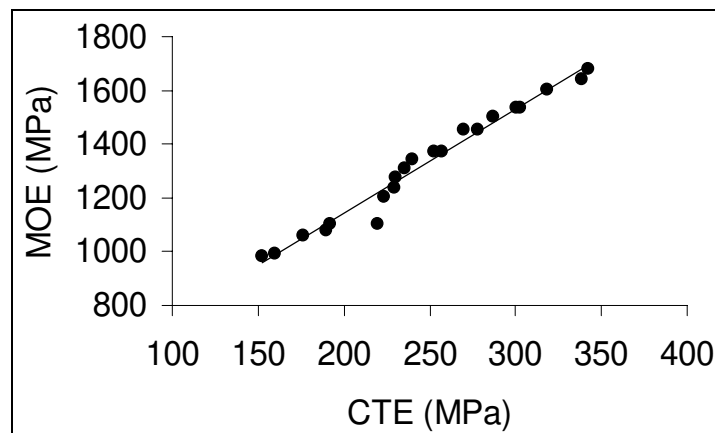


Figura 4.109 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE4.

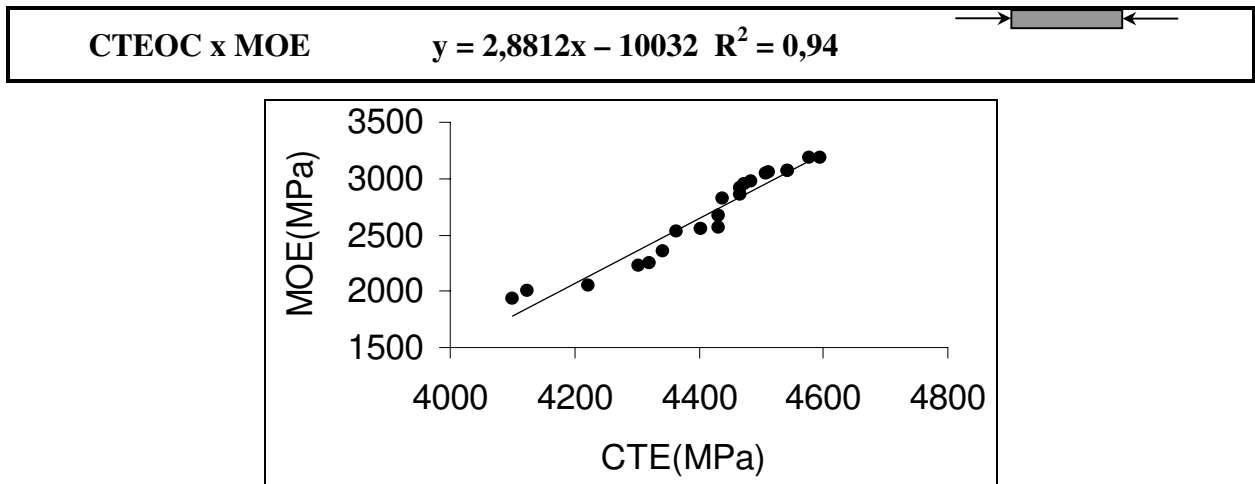


Figura 4.110 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE5.

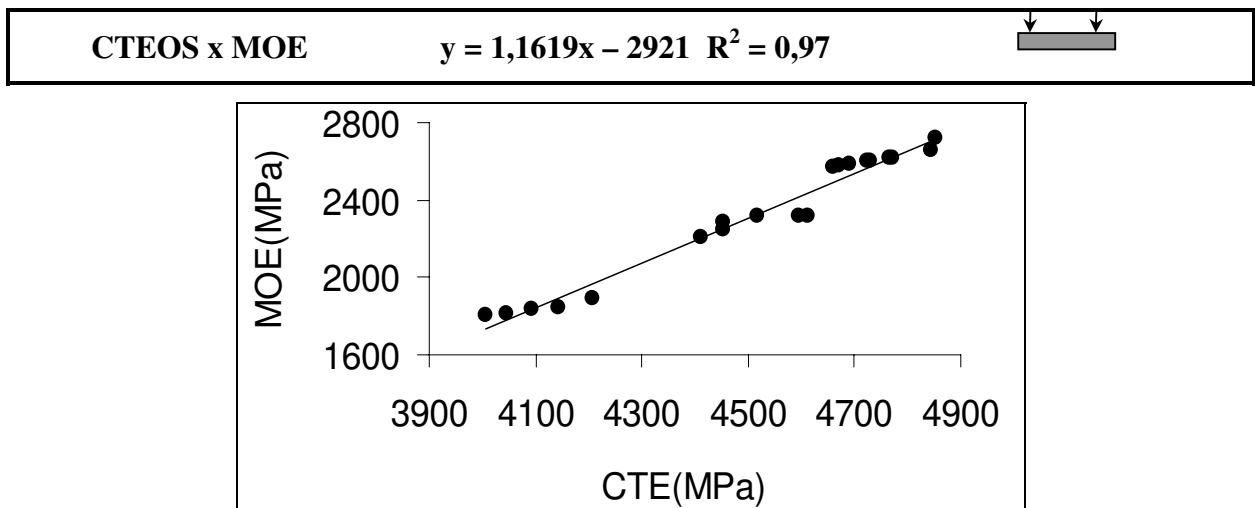


Figura 4.111 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE5.

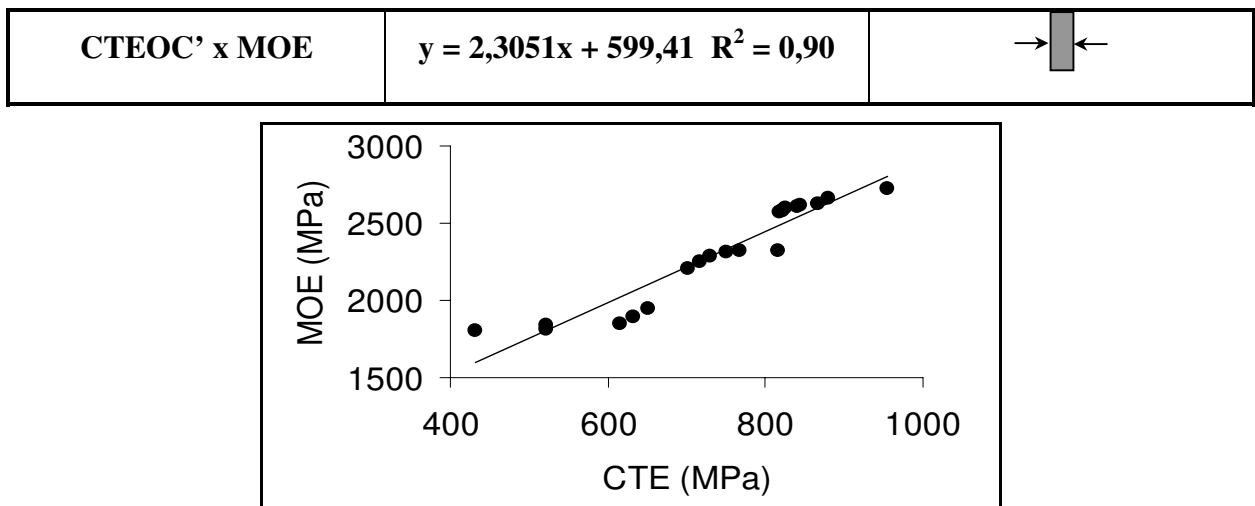


Figura 4.112 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE5.

CTEOC x MOE $y = 1,5483x - 3699,7$ $R^2 = 0,93$ 

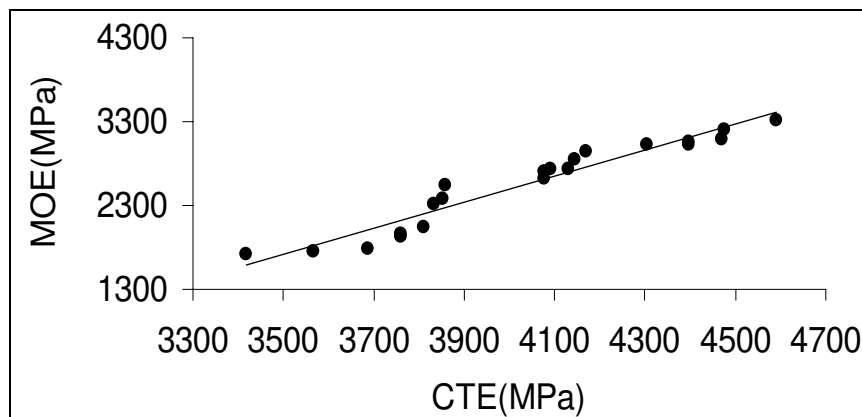


Figura 4.113 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE6.

CTEOS x MOE $y = 1,2255x - 2357,7$ $R^2 = 0,93$ 

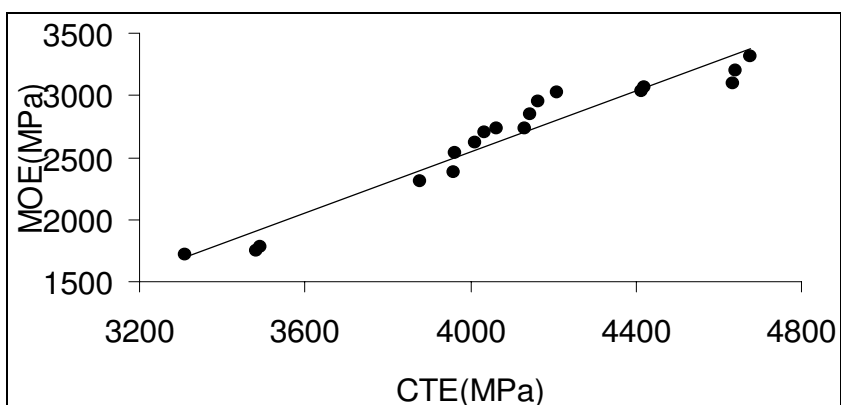
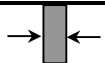


Figura 4.114 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE6.

CTEOC' x MOE $y = 0,027x - 88,333$ $R^2 = 0,93$ 

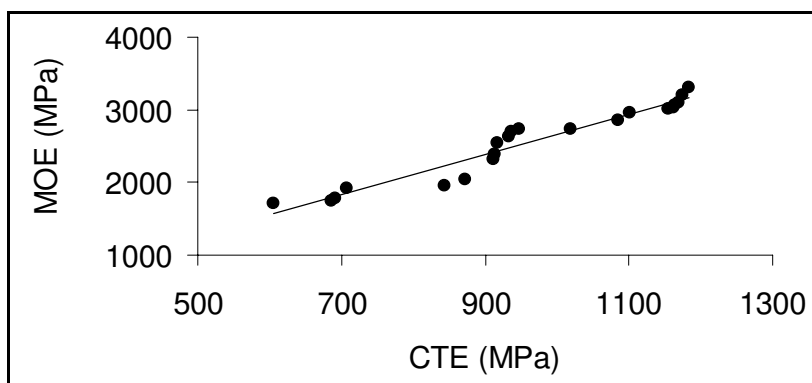


Figura 4.115 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE6.

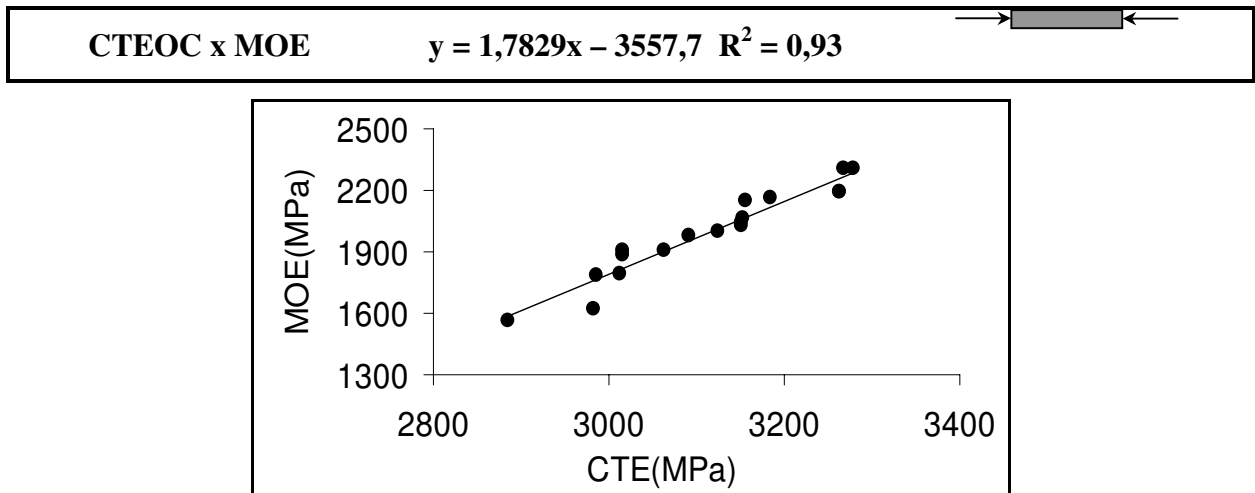


Figura 4.116 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE7.

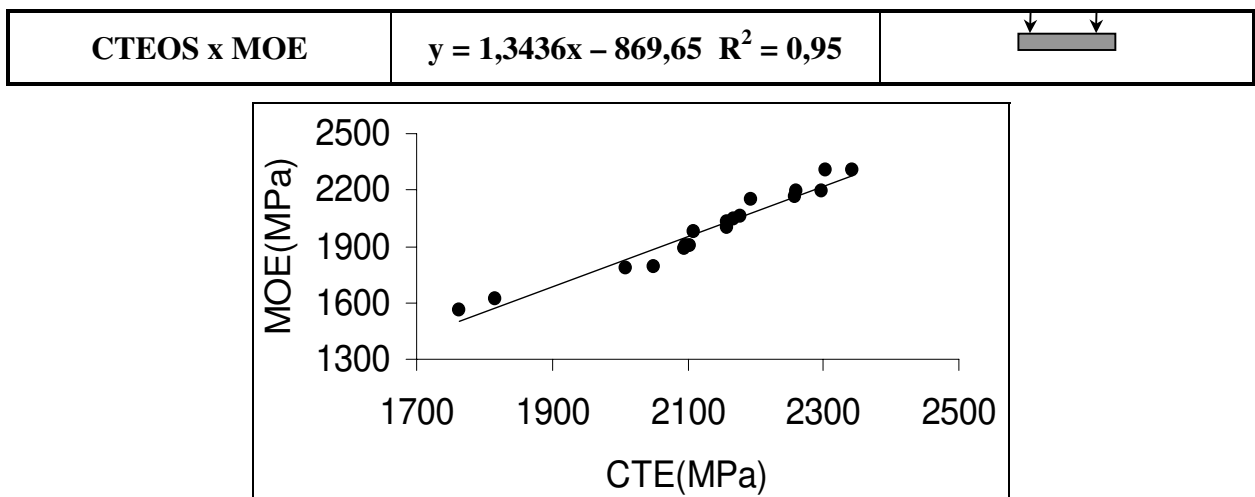


Figura 4.117 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE7.

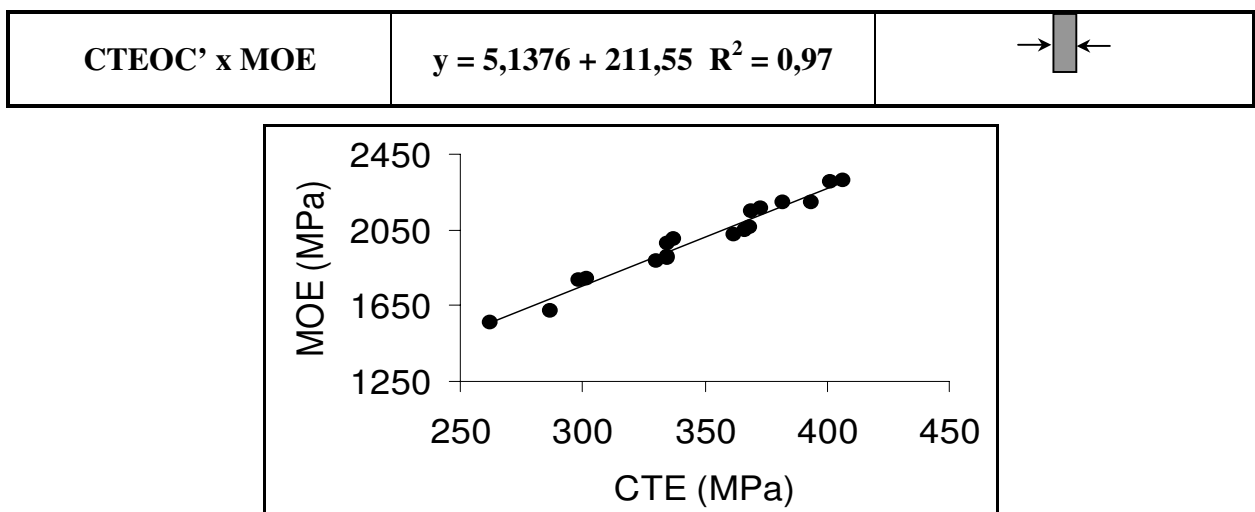


Figura 4.118 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE7.

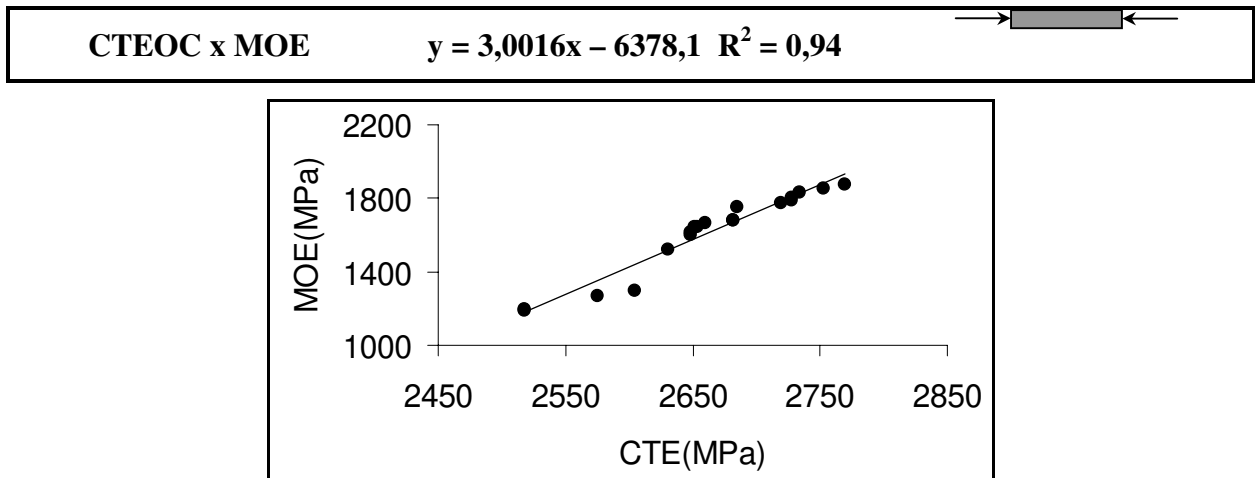


Figura 4.119 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE8.

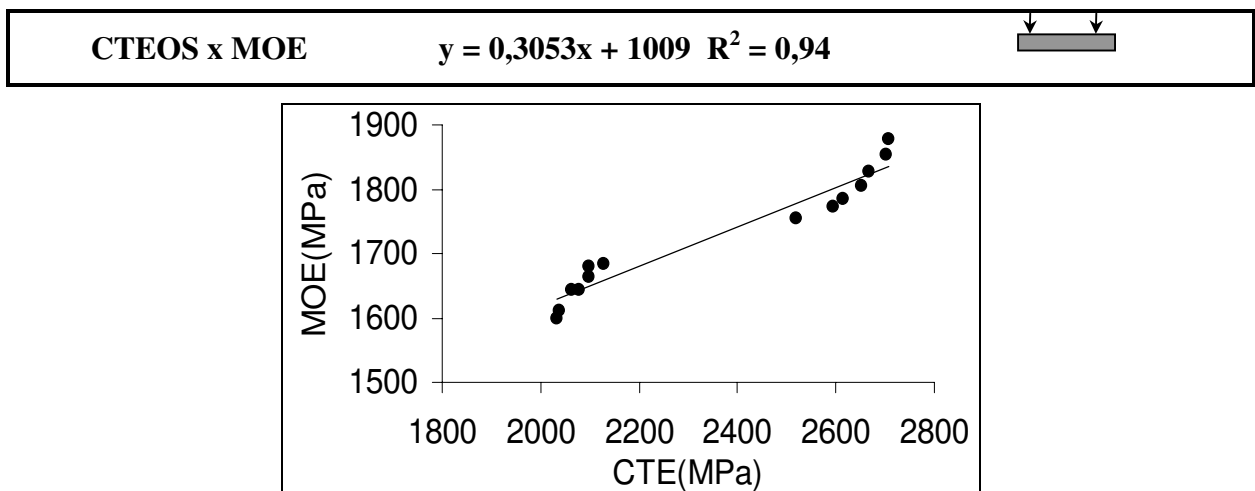


Figura 4.120 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE8.

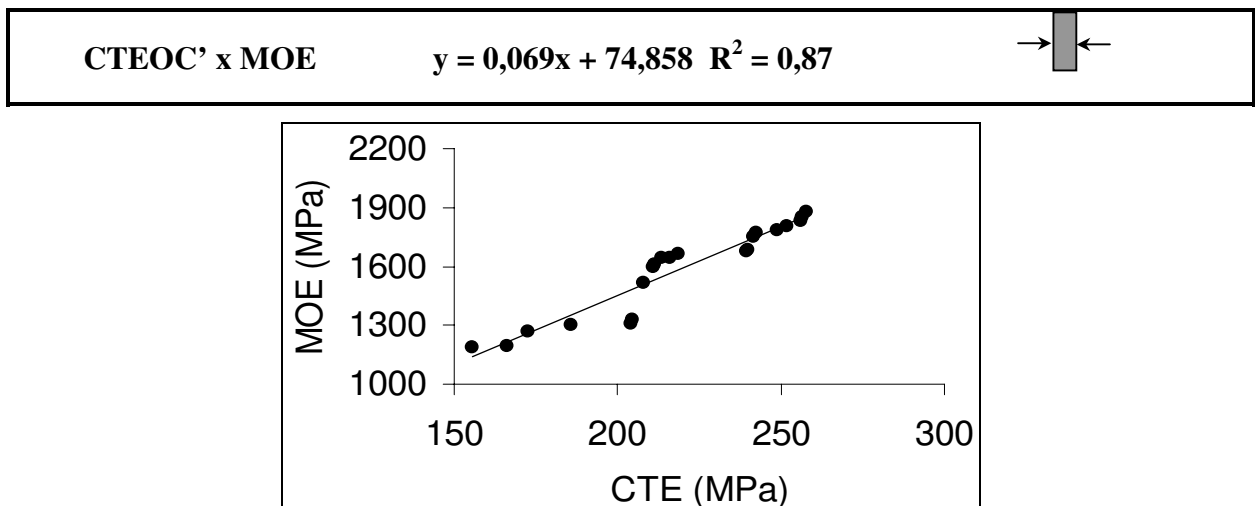


Figura 4.121 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE8.

Nas figuras 4.122 a 4.134 estão apresentados os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas (CTEOC, CTEOS, CTEOC') e o módulo de resistência à tração perpendicular (TP) das chapas das condições 3, 5, 6 e 7.

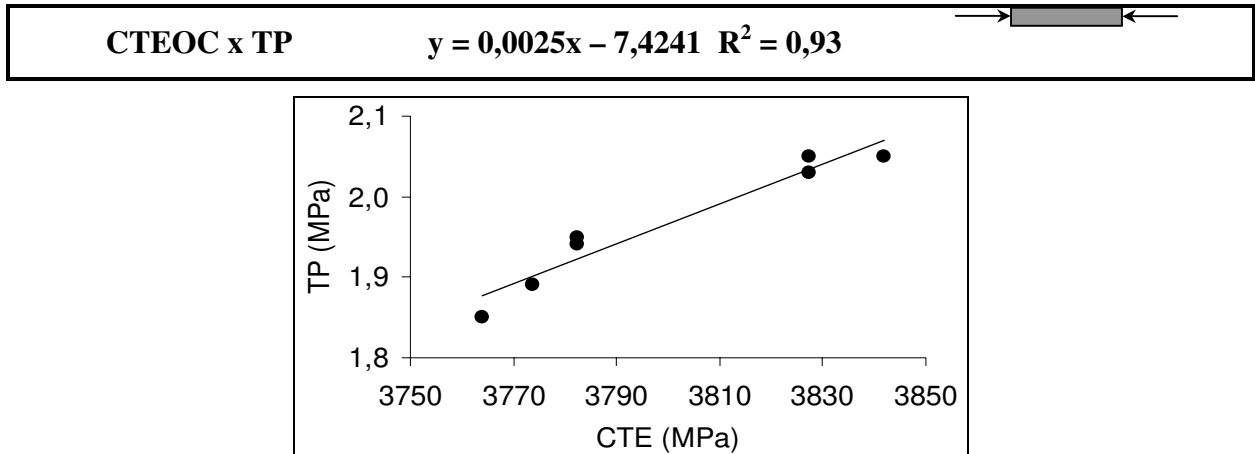


Figura 4.122 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE3.

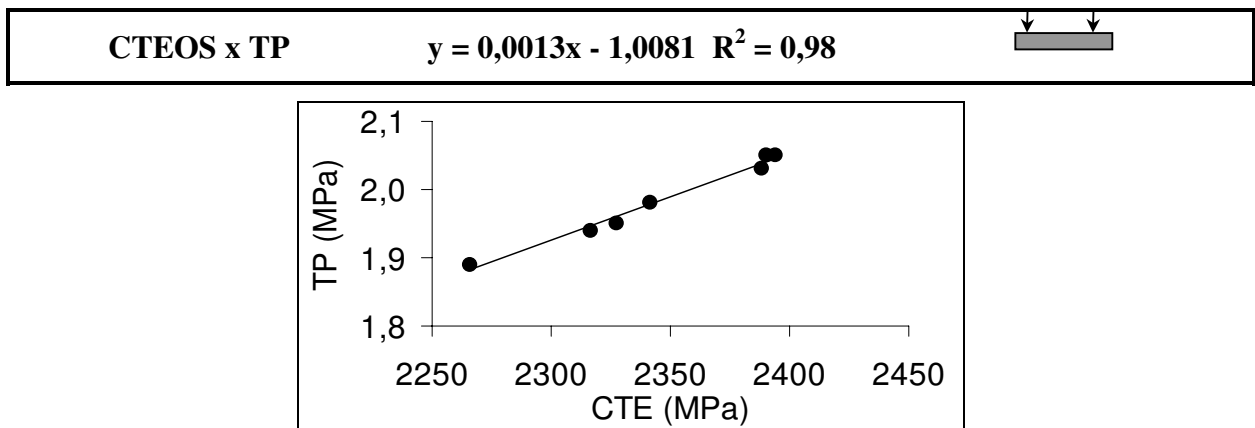


Figura 4.123 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE3.

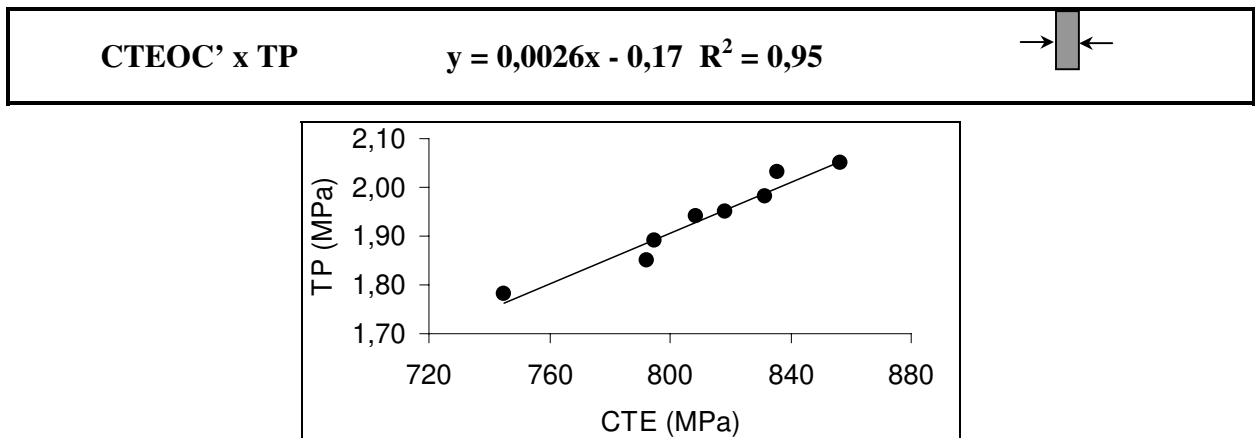


Figura 4.124 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE3.

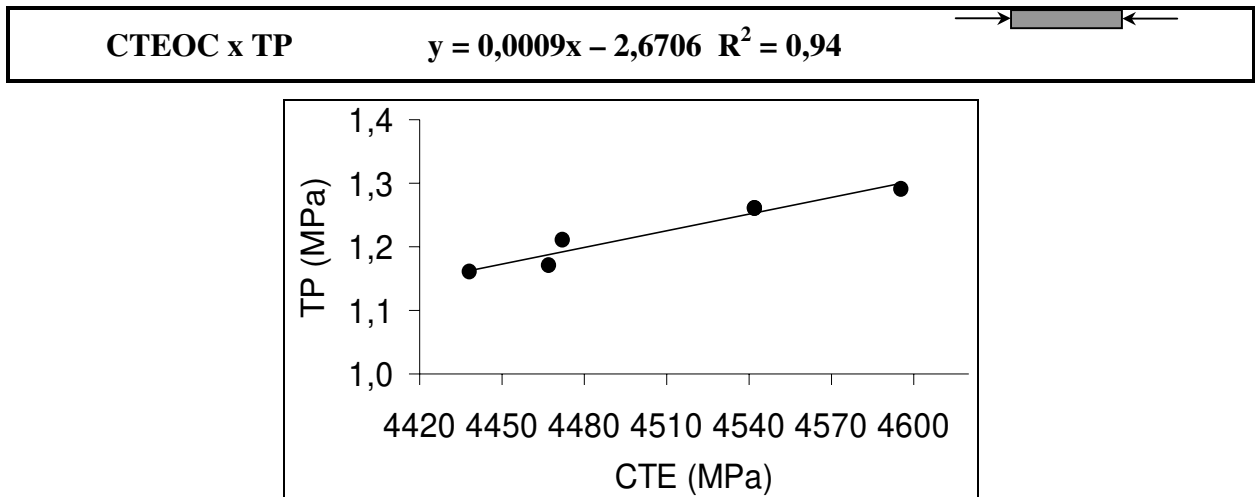


Figura 4.125 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE5.

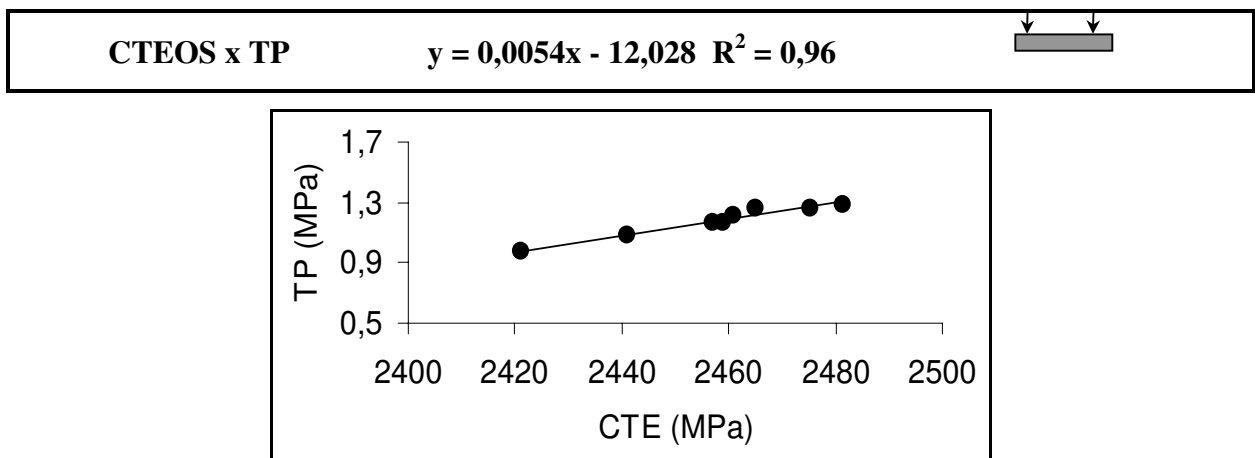


Figura 4.126 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE5.

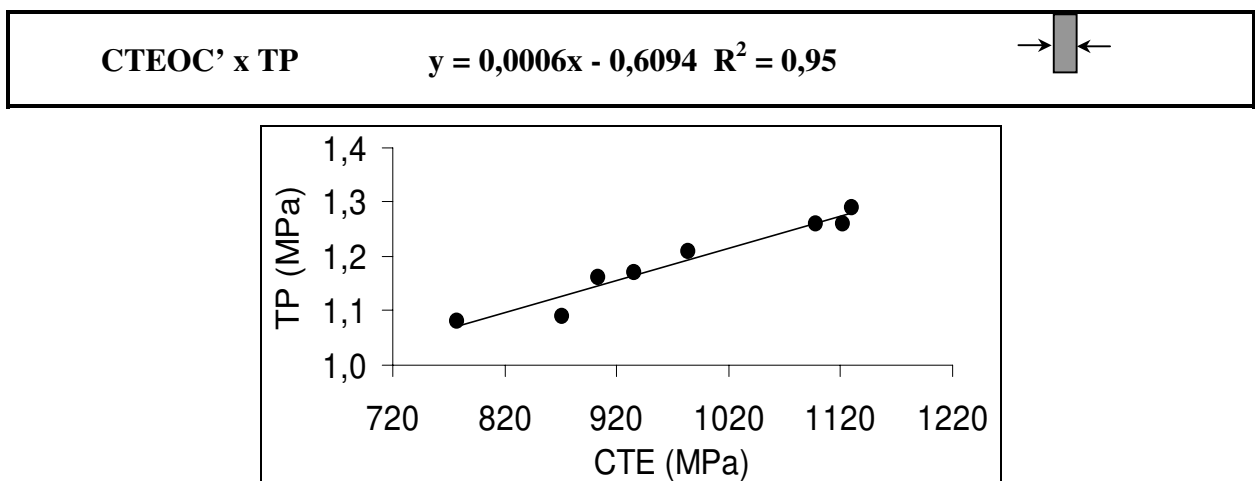


Figura 4.127 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE5.

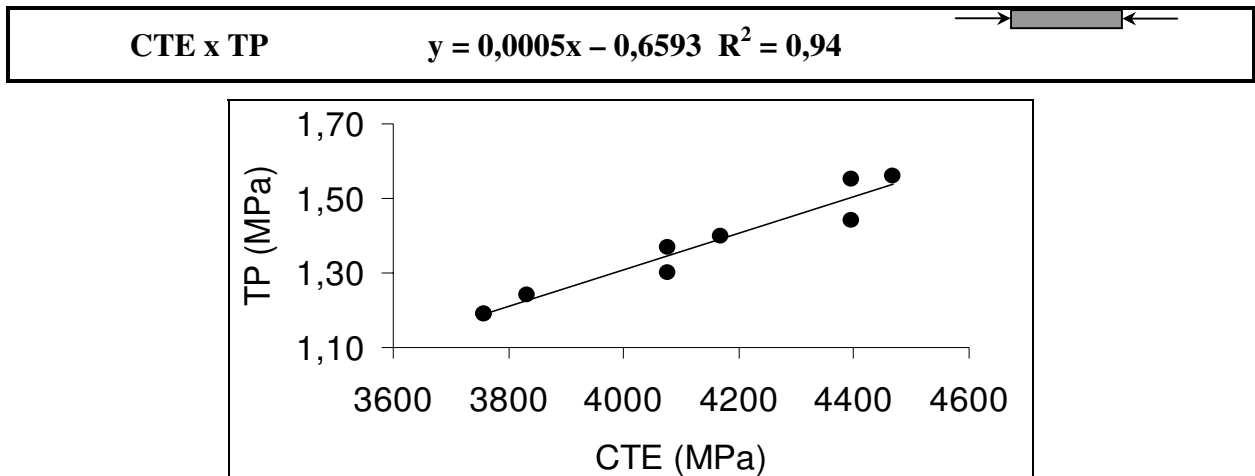


Figura 4.128 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE6.

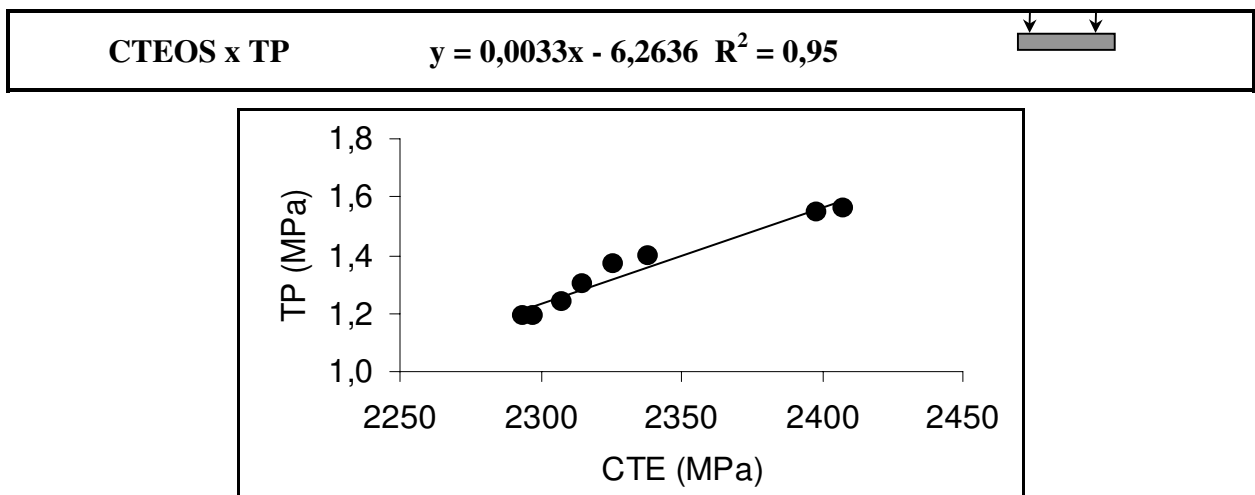


Figura 4.129 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE6.

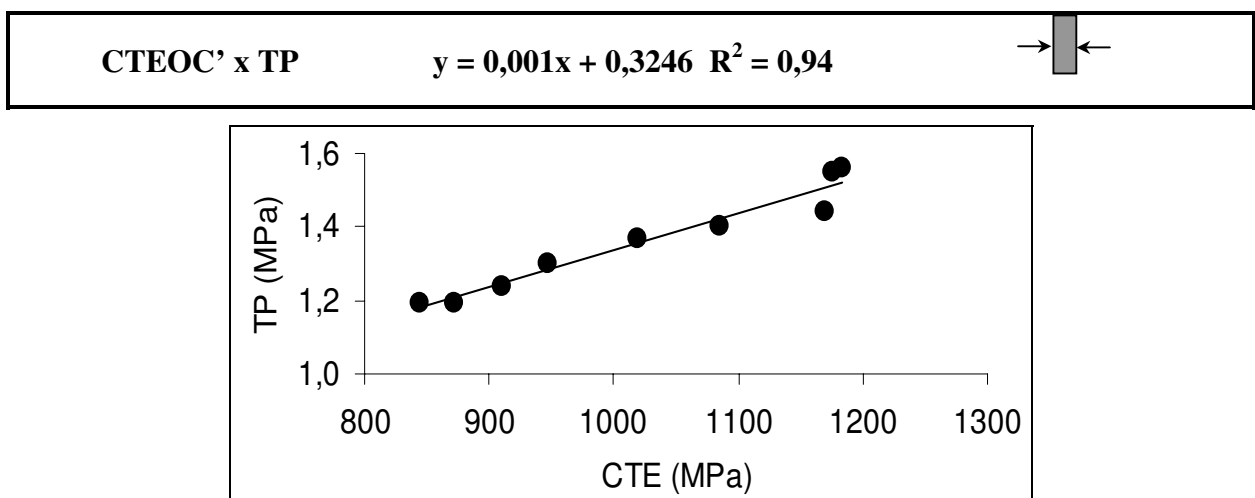


Figura 4.130 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE6.

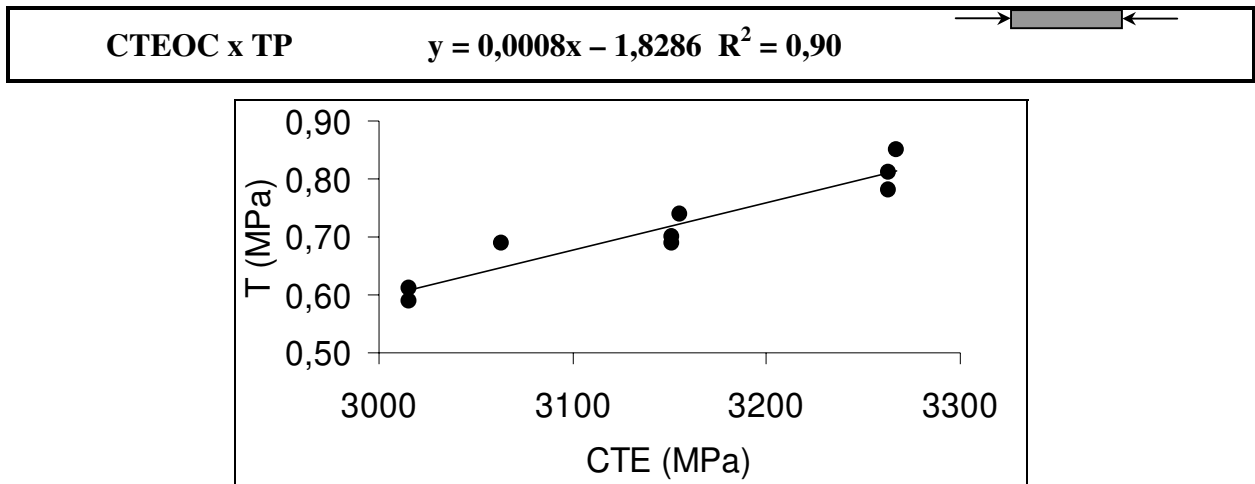


Figura 4.131 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE7.

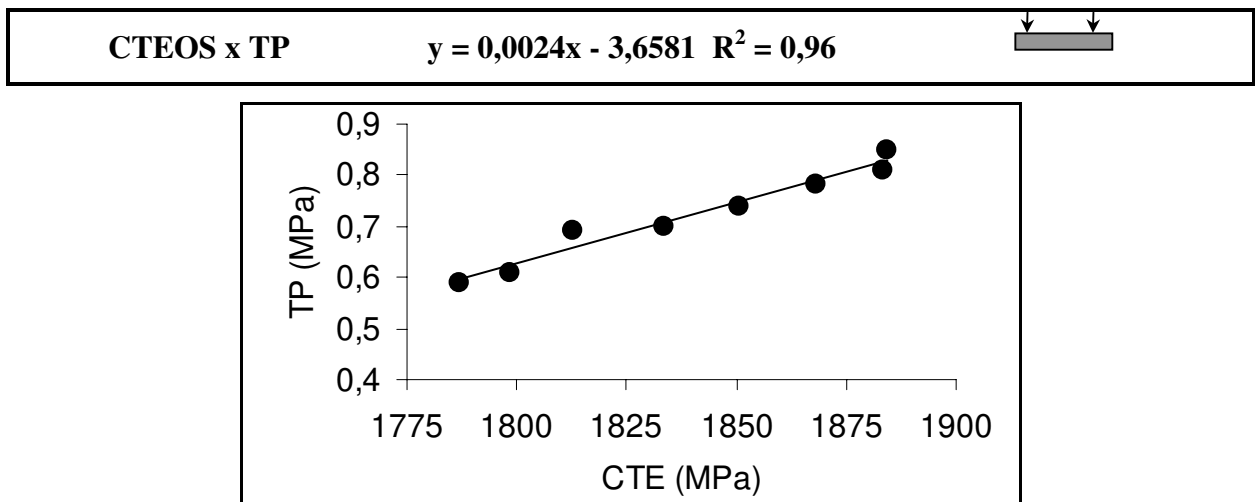


Figura 4.132 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE7

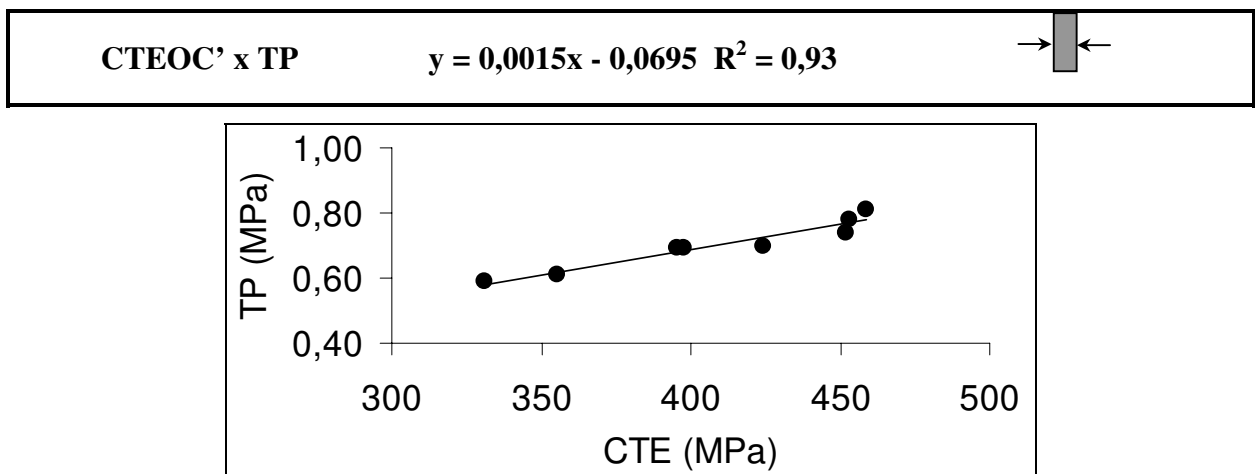


Figura 4.133 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE7.

Nas tabelas 4.5 e 4.6 estão apresentados os coeficientes de determinação (R^2) entre as constantes dinâmicas (CTE) e os módulos de resistências e módulo de elasticidade das chapas.

Tabela 4.5 – Coeficientes de determinação (R^2) entre CTE e (MOR, TP)

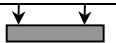
	Coeficientes de determinação (R^2)					
						
	CTExMOR	CTExTP	CTExMOR	CTExTP	CTExMOR	CTExTP
CE3	0,93	0,93	0,92	0,98	0,97	0,95
CE5	0,94	0,94	0,98	0,96	0,95	0,95
CE6	0,94	0,94	0,93	0,95	0,91	0,94
CE7	0,95	0,90	0,90	0,96	0,93	0,93

Tabela 4.6 – Coeficientes de determinação (R^2) entre CTE e MOE.

	Coeficientes de determinação (R^2)		
			
	CTExMOE	CTExMOE	CTExMOE
CE1	0,96	0,91	0,99
CE2	0,93	0,92	0,98
CE3	0,95	0,91	0,96
CE4	0,98	0,97	0,97
CE5	0,94	0,97	0,90
CE6	0,93	0,93	0,93
CE7	0,93	0,93	0,97
CE8	0,94	0,94	0,87

Nas figuras 4.86 a 4.121 foram determinados os R^2 entre as constes dinâmicas (CTE) e os módulos de resistência das CE 3, 5, 6 e 7 e os módulos de elasticidade das CE 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 das chapas de fibra. Esses coeficientes, apresentados nas tabelas 4.5 e 4.6, são significativos e indicam, a princípio, a possibilidade de utilização do método de ensaios não-destrutivos na inferência dos valores dos módulos de resistências e dos módulos de elasticidades das chapas nas referidas CE.

A utilização inadequada dos transdutores de faces planas aplicadas na direção z das chapas foi outro aspecto observado. Nessas condições as ondas ultra-sônicas possuem comprimentos (λ) de aproximadamente 11 mm e as chapas de fibra possuem espessuras que variam entre 9 e 16 mm, ou seja, o comprimento da onda ultra-sônica é aproximadamente igual à espessura das chapas, fazendo com que as velocidades das ondas ultra-sônicas sejam afetadas pela frequência do transdutor. No entanto, é importante destacar que, embora os

valores determinados das constantes estejam afetados, há coerência nos resultados e nas correlações obtidas.

4.5. ENSAIOS DESTRUTIVOS DA FASE III.

A possibilidade de solução dos problemas ocorridos durante o processo de confecção das chapas das condições experimentais da fase II motivou o desenvolvimento da fase III e o estudo de novas propostas de condições experimentais, apresentadas a seguir:

1. Aumento da pressão de prensagem das chapas (> 40 bar), pois, observou-se que a pressão aplicada não atingiu plenamente os objetivos programados.
2. Aumento do teor de umidade das fibras, objetivando encontrar a umidade adequada para a síntese de PU7030.
3. Diminuição da temperatura de prensagem, objetivando-se minimizar os problemas de degasagem nas chapas e adequar às características da síntese.
4. Verificar o desempenho de chapas com 3 % de PU7030 e umidade da fibra em torno de 12 %, com o objetivo de encontrar o teor de resina mais econômico.

Nas figuras 4.134 a 4.138 são apresentados os gráficos com os valores dos módulos de resistências das chapas confeccionadas com PU7030 das condições experimentais 1, 3, 4 e 6 da fase III.

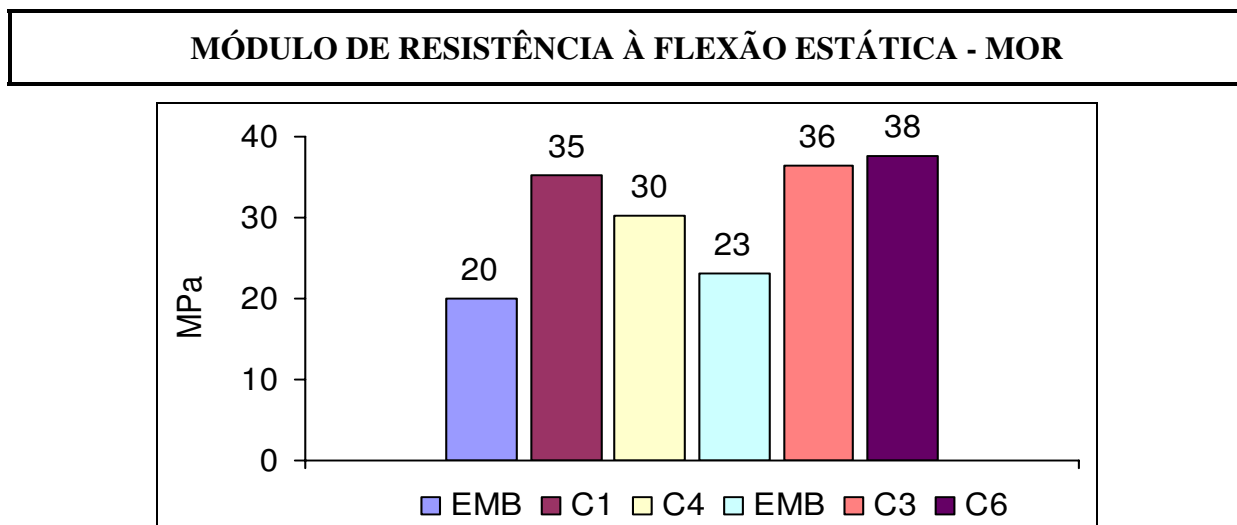


Figura 4.134 - MOR das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII.

MÓDULO DE ELASTICIDADE - MOE

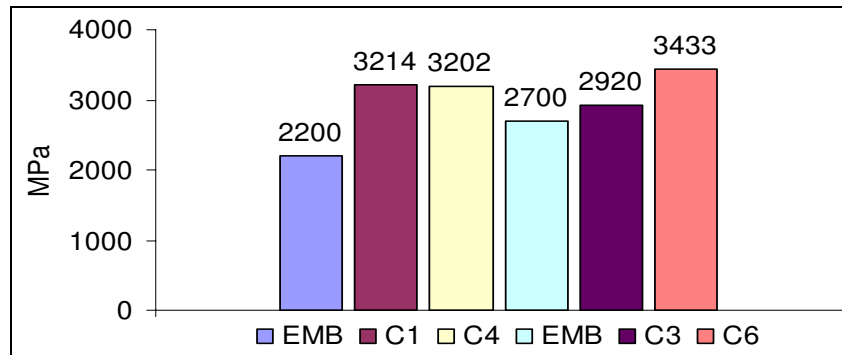


Figura 4.135 - MOE das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR - TP

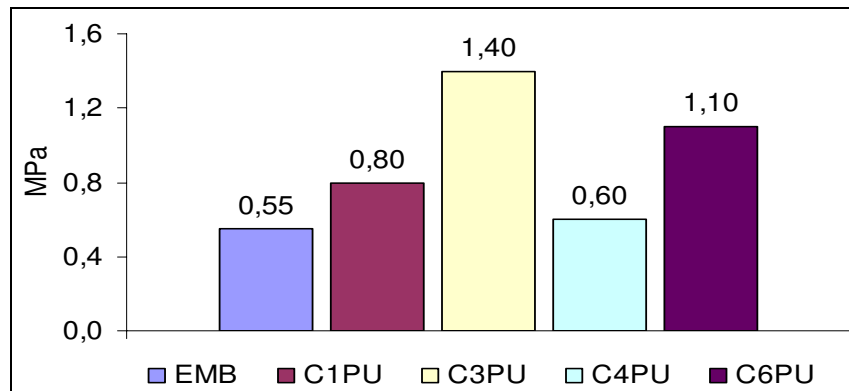


Figura 4.136 - TP das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII

MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SUPERFICIAL - TS

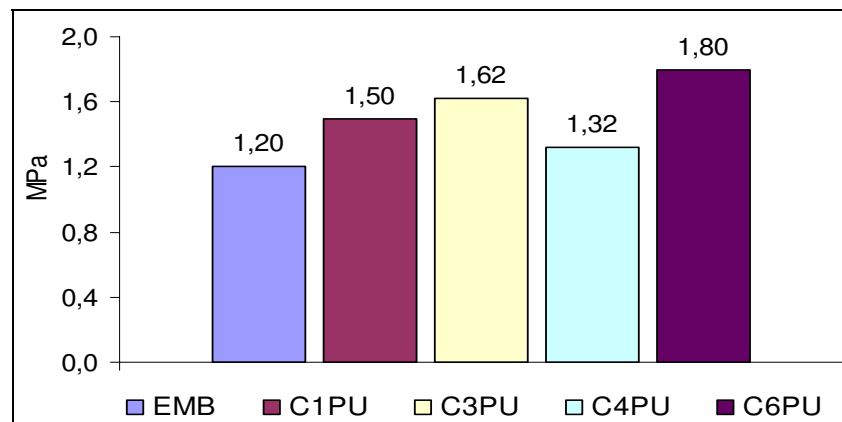


Figura 4.137 - TS das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII.

INCHAMENTO APÓS 24 HORAS – INCH24

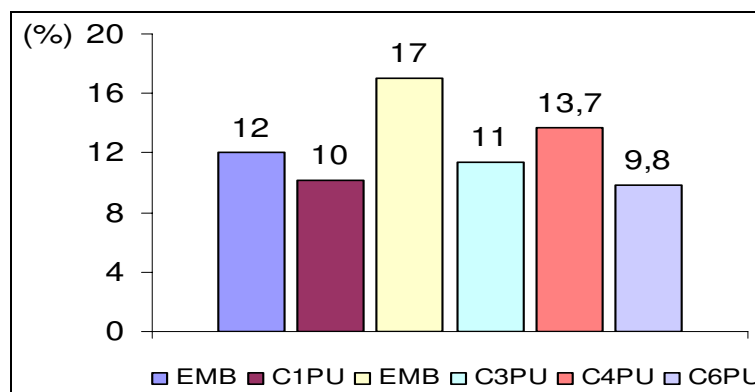


Figura 4.138 - Inchamento após 24 horas das chapas das CE 1, 3, 4 e 6 da FIII.

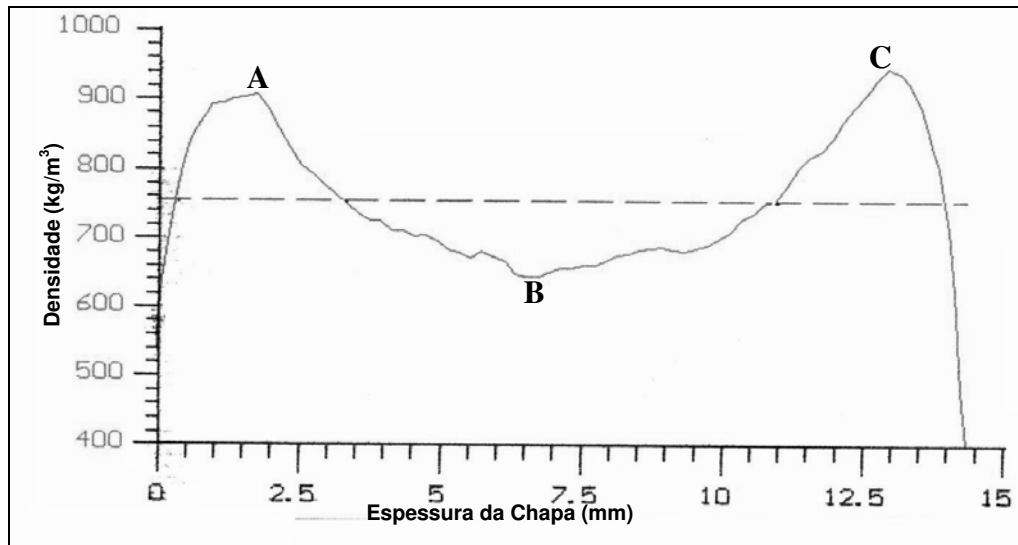
A tabela 4.7 apresenta as médias das resistências obtidas com os ensaios nas chapas das condições experimentais 1, 3, 4 e 6 relativas à fase III. Entretanto, com relação às condições experimentais 2 e 5, observou-se que a utilização de 3 % de PU7030 não propiciou adesão suficiente entre as fibras, causando má formação às chapas e impossibilitando a realização dos ensaios de caracterização.

Tabela 4.7 - Valores médios das propriedades das chapas de fibra.

	Condições experimentais				EMB	
	1	3	4	6		
δ (g/cm ³)	0,75	0,80	0,73	0,79	0,50 a 0,80	
ESP (mm)	14,54	8,90	14,87	8,38	>6 a 9	>12 a 19
MOR (MPa)	35,20	36,33	30,25	37,72	23	20
MOE (MPa)	3214	2920	3202	3433	2700	2200
TP (MPa)	0,80	1,40	0,60	1,10	0,55	0,55
TS (MPa)	1,50	1,62	1,32	1,80	1,20	1,20
INCH24H (%)	10,17	11,42	13,70	9,82	17	12

As figuras 4.139 a 4.142 apresentam os gráficos dos perfis de densidade das chapas referentes às condições experimentais 1, 3, 4 e 6. As letras A e C indicam as densidades próximas às superfícies das chapas e a letra B, as densidades no interior da chapa.

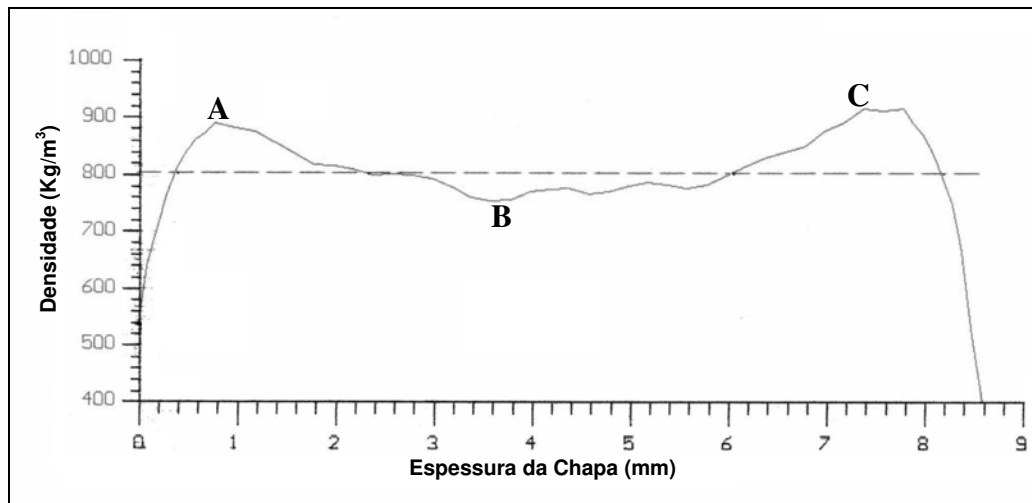
PERFIL DE DENSIDADE



A = 905 kg/m³, B = 666 kg/m³, C = 944 kg/m³, Espessura do cp = 14,54mm, Peso do cp = 27,66g

Figura 4.139 - Perfil de densidade das chapas de fibra da CE1.

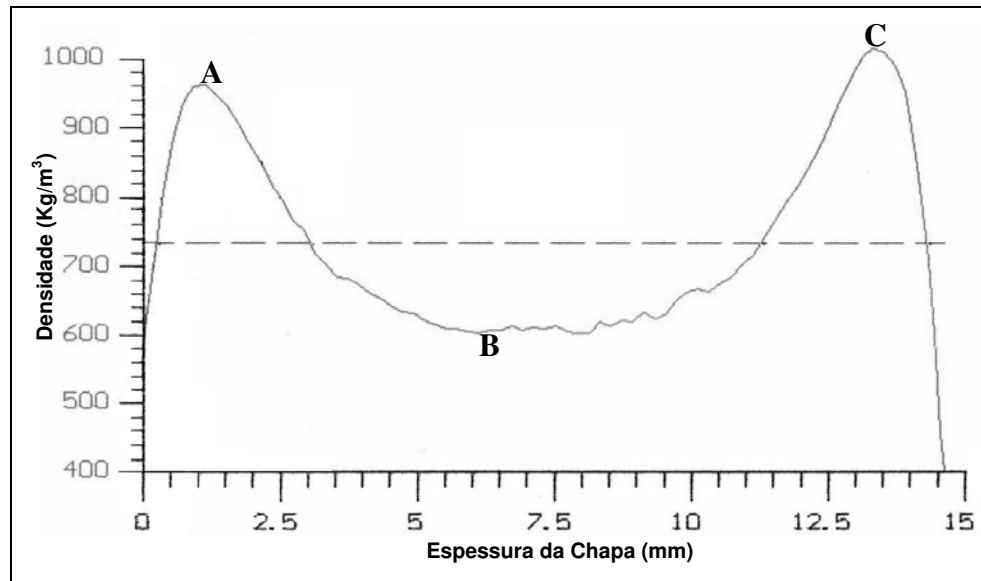
PERFIL DE DENSIDADE



A = 888 kg/m³, B = 779 kg/m³, C = 915 kg/m³, Espessura do cp = 8,60mm, Peso do cp = 17,69g

Figura 4.140 - Perfil de densidade das chapas de fibra da CE3.

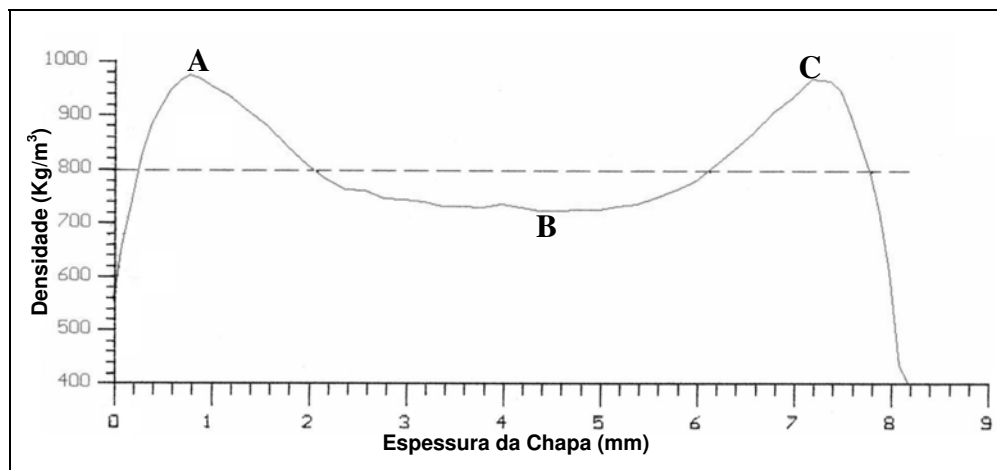
PERFIL DE DENSIDADE



A = 960kg/m³, B = 609kg/m³, C = 1014kg/m³, Espessura do cp = 14,87mm, Peso do cp = 27,56g

Figura 4.141 - Perfil de densidade das chapas de fibra da CE4.

PERFIL DE DENSIDADE



A = 974kg/m³, B = 740kg/m³, C = 967kg/m³, Espessura do cp = 8,38mm, Peso do cp = 16,92g

Figura 4.142 - Perfil de densidade das chapas de fibra da CE6.

Conforme apresentado na tabela 4.6, os valores dos módulos de resistência à flexão estática, tração superficial, tração perpendicular e módulo de elasticidade das chapas com fibras de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* confeccionados com PU7030 e propostos de acordo com as condições experimentais CE1, CE3, CE4 e CE6, foram superiores aos valores mínimos propostos pela EMB (20 e 23 MPa) respectivamente, evidenciando a eficiência dos teores (3 e 5 %) de PU7030 e a possibilidade de utilização na confecção dessas chapas.

Observa-se também na tabela 4.6, que os percentuais de inchamento das chapas da condição experimental 4, apresentaram resultados pouco satisfatórios, entretanto, conforme ocorrido anteriormente com as chapas de fibra da condição experimental 7 da fase II, durante a confecção das chapas, foi necessário diminuir a massa de fibras para possibilitar seu encaixe entre os partos da prensa. Esse procedimento afetou a densidade e a resistência à umidade, além do que, deve-se considerar que em nenhuma das chapas foi adicionado parafina às fibras com o objetivo de conferir maior resistência à umidade.

De modo geral os valores de resistência obtidos permitem inferir que para confecção das chapas de fibra de *Eucalyptus grandis* e de *Pinus caribaea* são necessários 5% de PU7030.

Nos gráficos das figuras 4.139 a 4.142, observa-se que as densidades das chapas das condições experimentais 1, 3, 4 e 6, estão compatíveis com os limites (500 a 800 kg/m³) propostos pela EMB.

Com relação às espessuras das chapas, observa-se nas figuras 4.139 a 4.142 que a pressão de prensagem utilizada (53bar) foi eficiente e propiciou a espessura prevista, conforme proposto nas condições experimentais.

A eficiência do teor de umidade adicionada às fibras (12 %), foi outro aspecto observado durante o processo de confecção das chapas, neste caso, verificou-se que esse teor é adequado, pois possibilitou melhor distribuição de PU7030 às fibras.

4.6. ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS DA FASE III

Nas análises realizadas nos ensaios não-destrutivos das chapas de fibra da fase II verificou-se inicialmente que ocorreu uma variação da velocidade da onda ultra-sônica, ou seja, apresentaram valores menores próximos às bordas e maiores na região central das chapas. Este fenômeno também foi observado nas chapas das condições experimentais da fase III. Os valores das velocidades determinadas nas chapas da fase III estão apresentados nas tabelas A4.1 a A4.8 do Anexo IV.

Foi possível observar também, durante a análise dos ensaios das chapas de fibra da fase II que as variações das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas são similares as variações das densidades das chapas. Mediante esta observação, nos ensaios das chapas da fase III foi feita uma análise comparativa das variações das velocidades com as variações das densidades nas chapas. As figuras 4.143 a 4.158 apresentam os gráficos das densidades e das variações das velocidades das ondas ultra-sônicas nas chapas das condições experimentais 1, 3, 4 e 6.

CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 1 - FASE III

VARIAÇÃO DA DENSIDADE

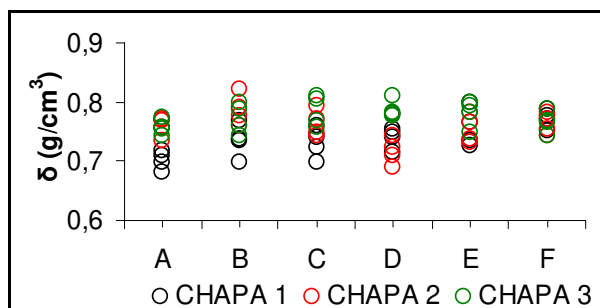


Figura 4.143 - Variação da densidade nas chapas da CE1.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE

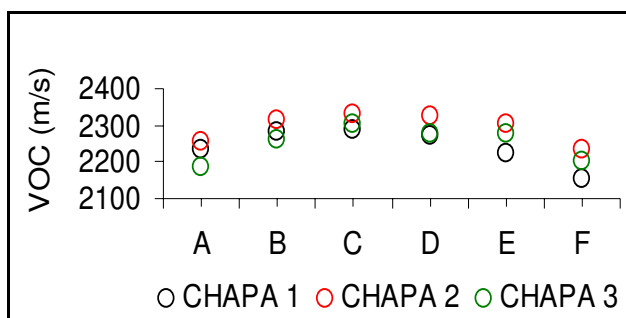


Figura 4.144 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.

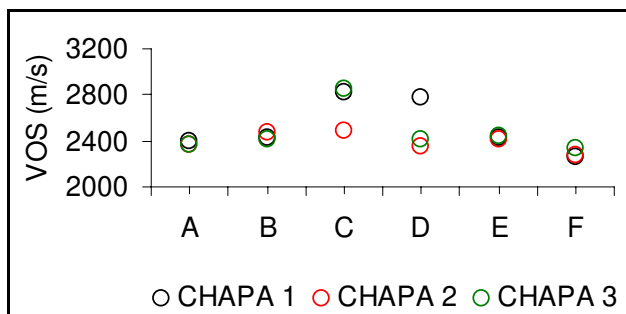


Figura 4.145 – Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.

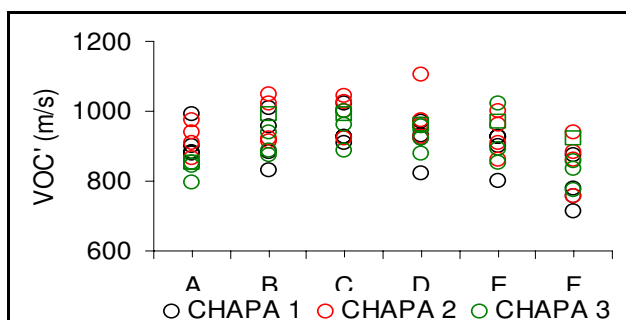


Figura 4.146 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.

CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 3 - FASE III	
VARIAÇÃO DA DENSIDADE	VARIAÇÃO DA VELOCIDADE

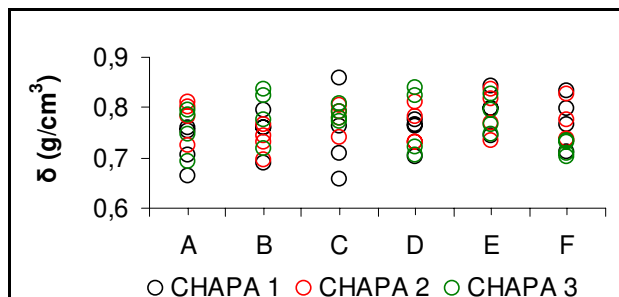


Figura 4.147 - Variação da densidade nas chapas da CE3.

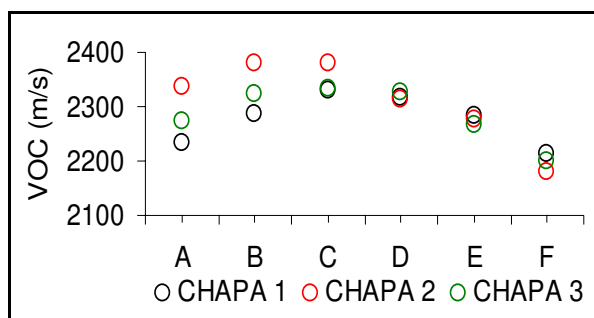


Figura 4.148 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.

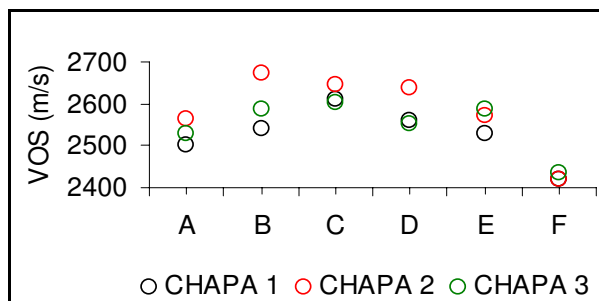


Figura 4.149 – Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.

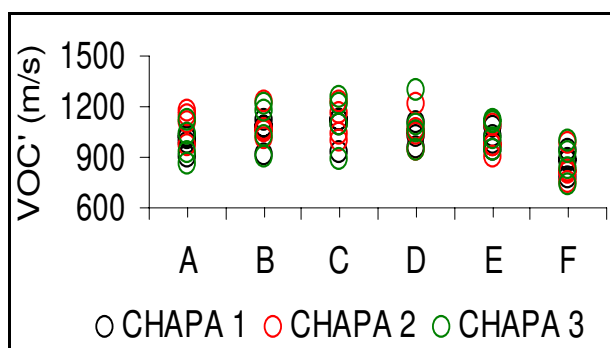


Figura 4.150 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.

CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 4 - FASE III

VARIAÇÃO DA DENSIDADE

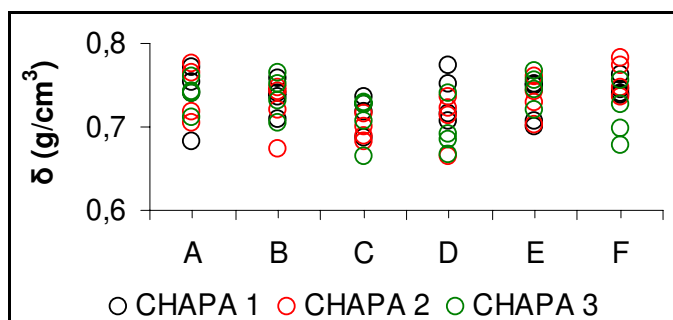


Figura 4.151 - Variação da densidade nas chapas da CE4.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE

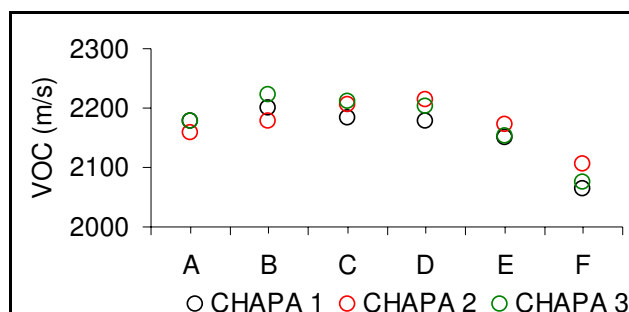


Figura 4.152 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.

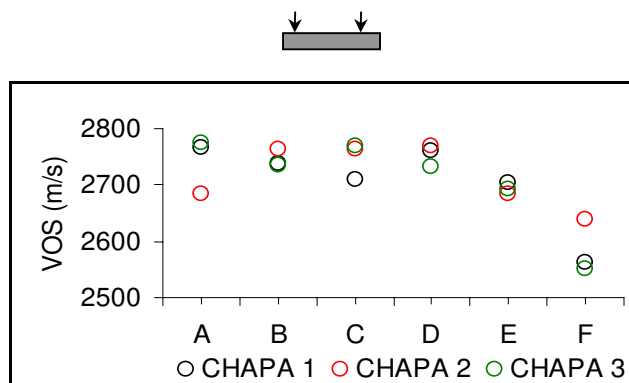


Figura 4.153 – Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.

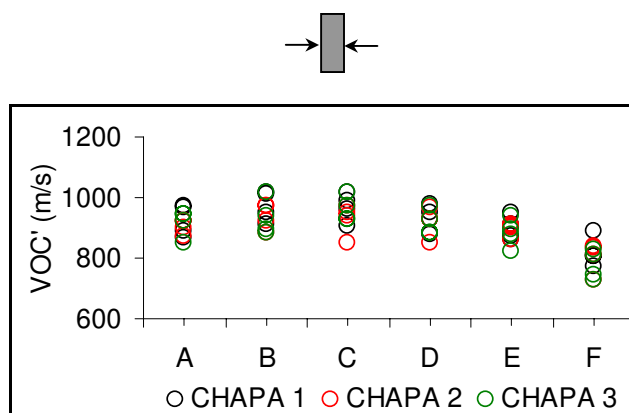
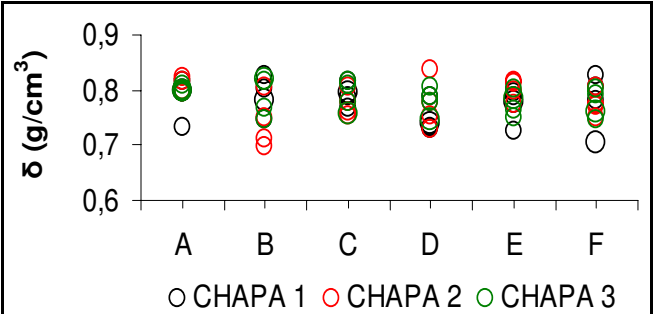
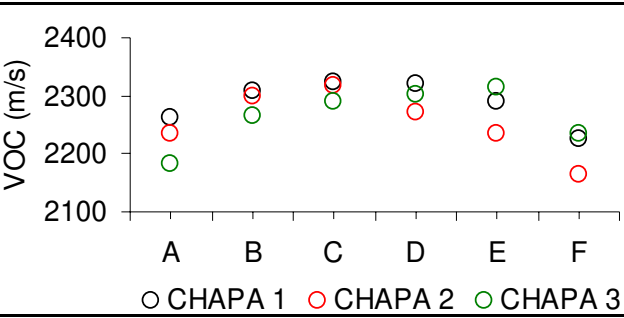
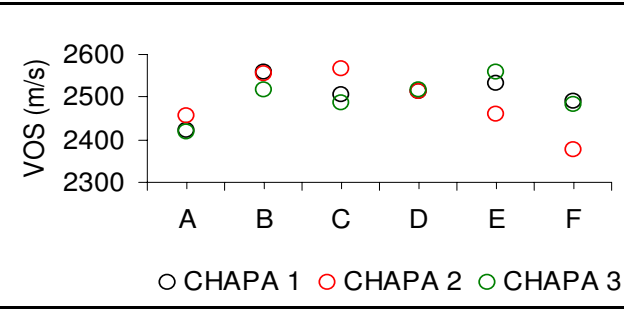
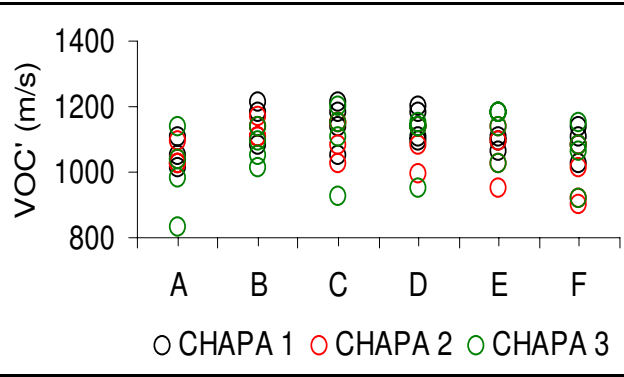


Figura 4.154 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.

CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 6 - FASE III

VARIAÇÃO DA DENSIDADE	VARIAÇÃO DA VELOCIDADE
 Figura 4.155 - Variação da densidade na chapas da CE6.	 Figura 4.156 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção y da chapa.  Figura 4.157 – Variação da velocidade da onda de superfície na direção y.  Figura 4.158 – Variação da velocidade da onda de compressão na direção z.

As comparações entre as variações das densidades e das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas, apresentadas nos gráficos das figuras 4.143 a 4.158, evidenciaram

comportamento similar, ou seja, nas regiões das bordas das chapas, onde se observou maior variação da densidade ocorreu também maior variação da velocidade, enquanto que, nas regiões do centro das chapas ocorreram menores variações. Esta análise possibilita inferir que o processo de confecção das chapas conferiu homogeneidade e adesão interna entre as fibras com poucos espaços vazios.

A tabela 4.8 apresenta os intervalos de variação das densidades e das velocidades de ultra-som das chapas das condições 1, 3, 4 e 6 da fase III. Nesta tabela é possível verificar que as velocidades obtidas por meio de transdutores de faces planas, aplicados na direção (z) das chapas, apresentam intervalos de variação compatíveis com as densidades.

Tabela 4.8 - Variação da densidade e das velocidades de propagação das ondas de ultra-som.

	δ (g/cm ³)	VVO (m/s)		
		(y)	(y)	(z)
				
CE1	0,68 a 0,81	2155 a 2327	2255 a 2855	714 a 1103
CE3	0,66 a 0,79	2181 a 2380	2419 a 2672	737 a 1298
CE4	0,68 a 0,74	2063 a 2222	2550 a 2774	730 a 1017
CE6	0,70 a 0,82	2163 a 2324	2375 a 2565	830 a 1215

A tabela 4.9 apresenta os valores médios das constantes dinâmicas, obtidas a partir das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas e os valores médios dos módulos de resistência à flexão estática e módulo de elasticidade.

Tabela 4.9 - Valores das CTE, MOE e MOR.

	(y)				(y)				(z)		
											
	CTE _y	CTE _x	MOE	MOR	CTE _y	CTE _x	MOE	MOR	CTE _z	MOE	MOR
CE1	3875	3886	3177	35	4602	4485	3177	35	638	3177	35
CE3	4019	4025	2920	36	4989	4715	2920	36	804	2920	36
CE4	3397	3466	3202	30	5346	4765	3202	30	596	3202	30
CE6	4017	4024	3433	38	4860	4741	3433	38	924	3433	38

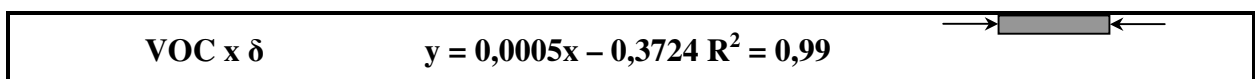
Na tabela 4.9 é possível observar que as constantes dinâmicas, obtidas por meio de transdutores de superfícies planas e exponenciais, aplicados nas direções *x* e *y* das chapas,

apresentaram valores próximos aos valores médios dos módulos de elasticidade. Os maiores valores encontrados para as constantes dinâmicas, são devido ao processo de confecção das chapas que utilizaram 12 % de umidade nas fibras. Esse teor de umidade propicia maior adesividade entre as fibras, diminuindo os espaços vazios e conseqüentemente facilitando a propagação das ondas ultra-sônicas.

Para os transdutores de superfícies planas, aplicados na direção z (espessuras das chapas) a frequência do transdutor não foi a mais adequada para a leitura nas condições de ensaio, uma vez que à distância percorrida pela onda, correspondente à espessura da chapa (8 a 15mm), foi inferior ao comprimento da onda ($\lambda \cong 20$ mm), o que faz com que a velocidade seja obtida em uma faixa na qual pode haver interferência da frequência do transdutor. No entanto, é importante destacar que, embora os valores das constantes não serem exatos, há coerência nos resultados e nas correlações obtidas.

4.7. CORRELAÇÕES ENTRE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS E DESTRUTIVOS DA FASE III

As figuras 4.159 a 4.170 apresentam os gráficos com os coeficientes de correlação entre velocidade e densidade das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.



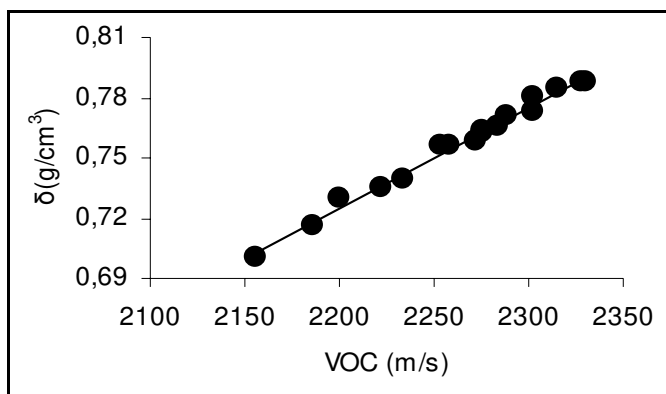


Figura 4.159 - R^2 entre VOC e δ das chapas da CE1.

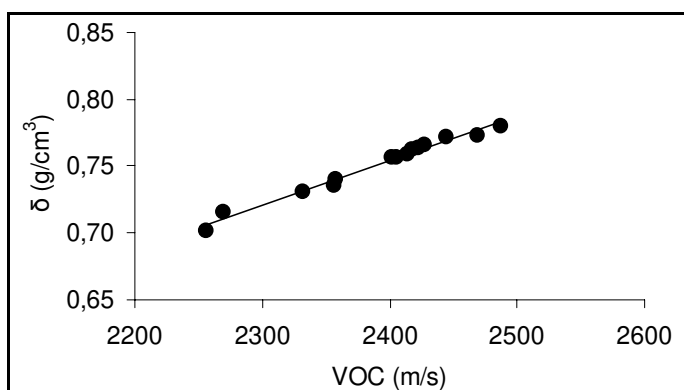
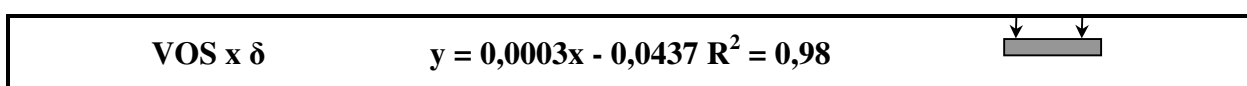


Figura 4.160 - R^2 entre VOS e δ das chapas da CE1.

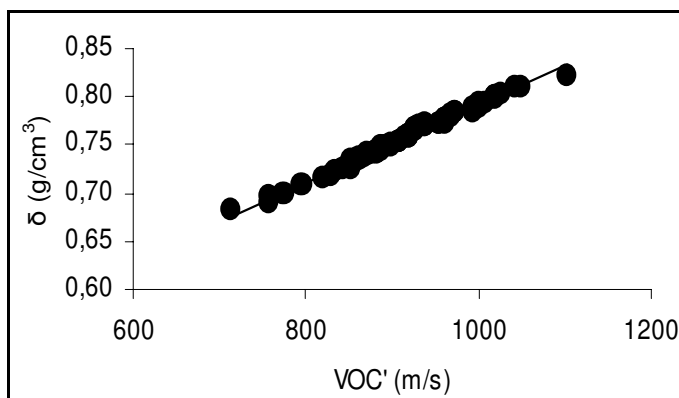
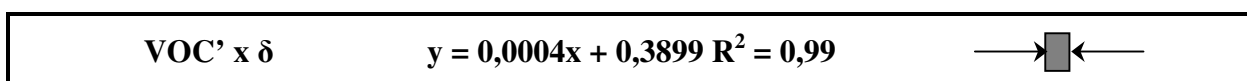
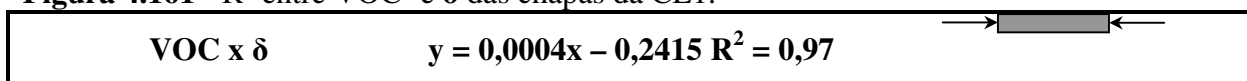


Figura 4.161 - R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE1.



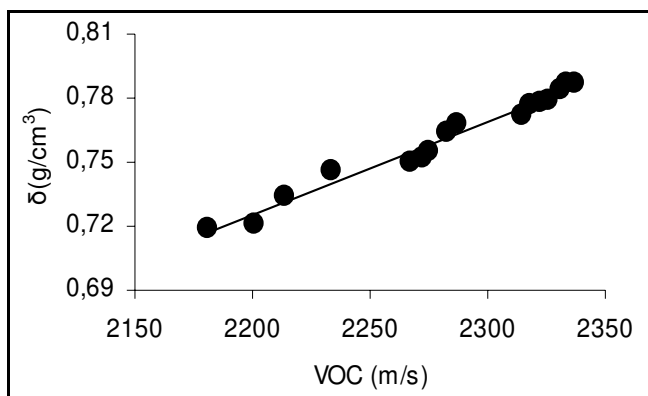


Figura 4.162 - R^2 entre VOC e δ das chapas da CE3.

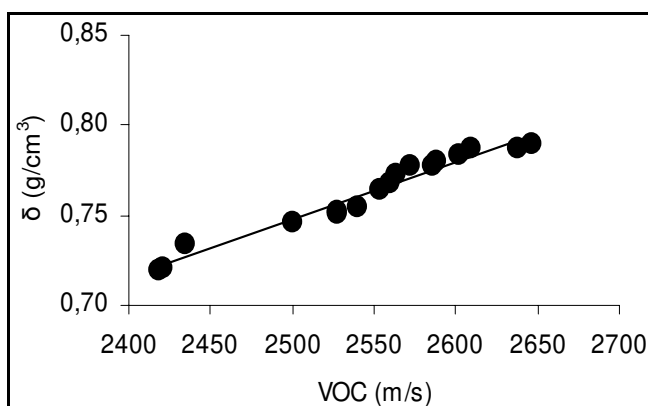
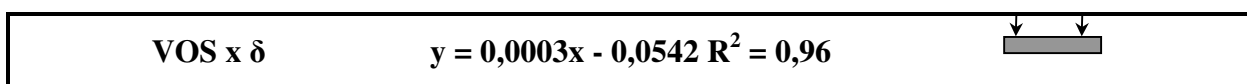


Figura 4.163 - R^2 entre VOS e δ das chapas da CE3.

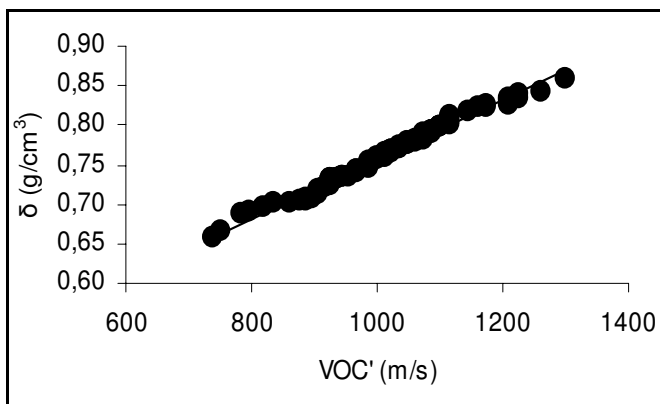
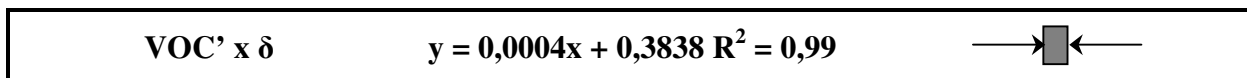
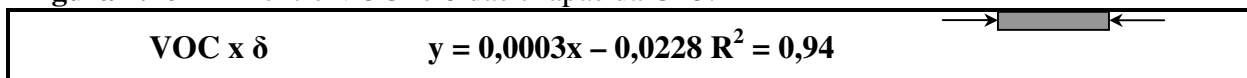


Figura 4.164 - R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE3.



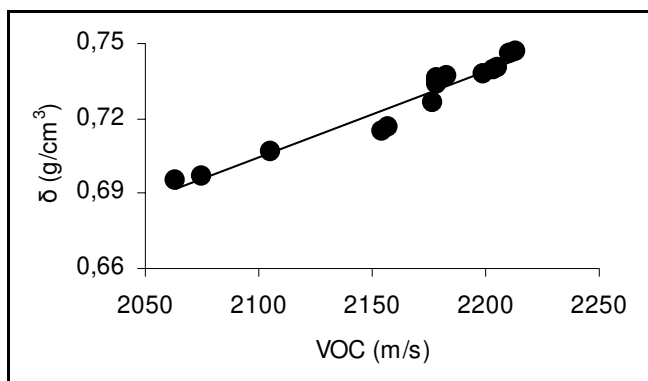


Figura 4.165 - R^2 entre VOC e δ das chapas da CE4.

VOS x δ	$y = 0,0002x + 0,1382$ $R^2 = 0,95$	
----------------------------------	--	--

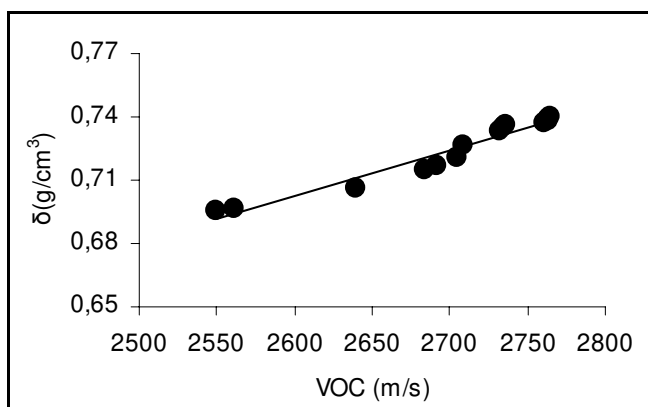


Figura 4.166 - R^2 entre VOS e δ das chapas da CE4.

VOC' x δ	$y = 0,0004x + 0,3319$ $R^2 = 0,98$	
-----------------------------------	--	--

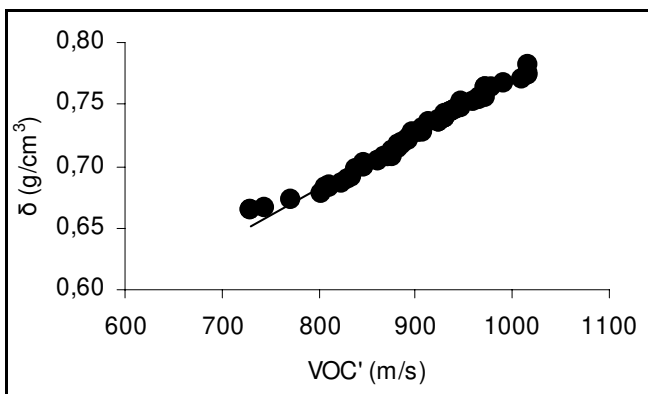


Figura 4.167 - R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE4

VOC x δ	$y = 0,0003x + 0,0205$ $R^2 = 0,94$	
----------------------------------	--	--

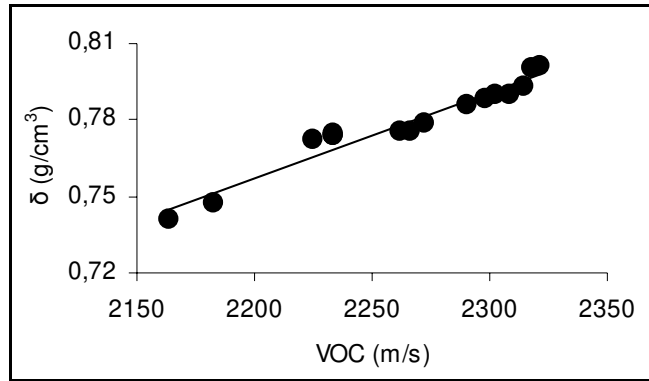


Figura 4.168 – R^2 entre VOC e δ das chapas da CE6.

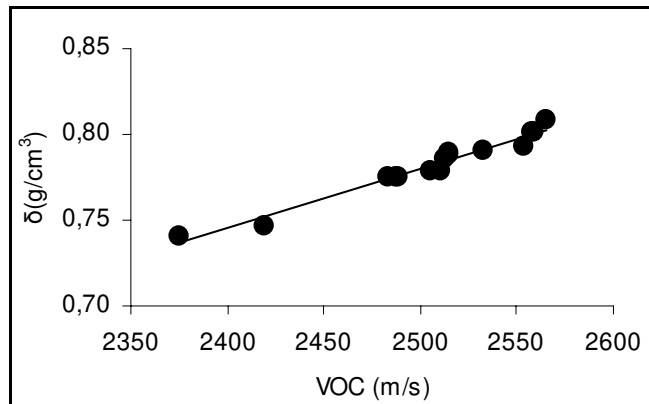
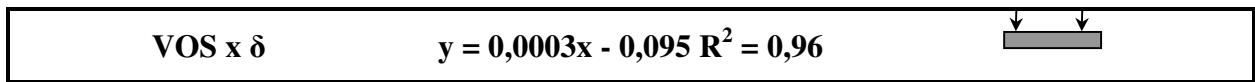


Figura 4.169 – R^2 entre VOS e δ das chapas da CE6.

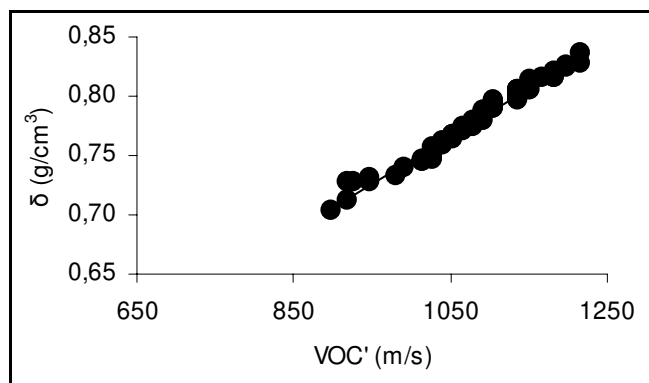
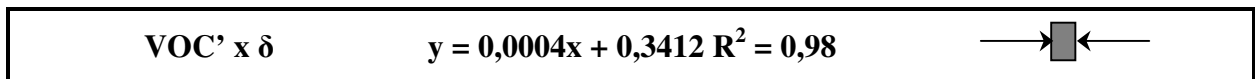


Figura 4.170 - R^2 entre VOC' e δ das chapas da CE6.

As figuras 4.171 a 4.182 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre velocidade de propagação da onda ultra-sônica e o módulo de resistência à flexão estática das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.

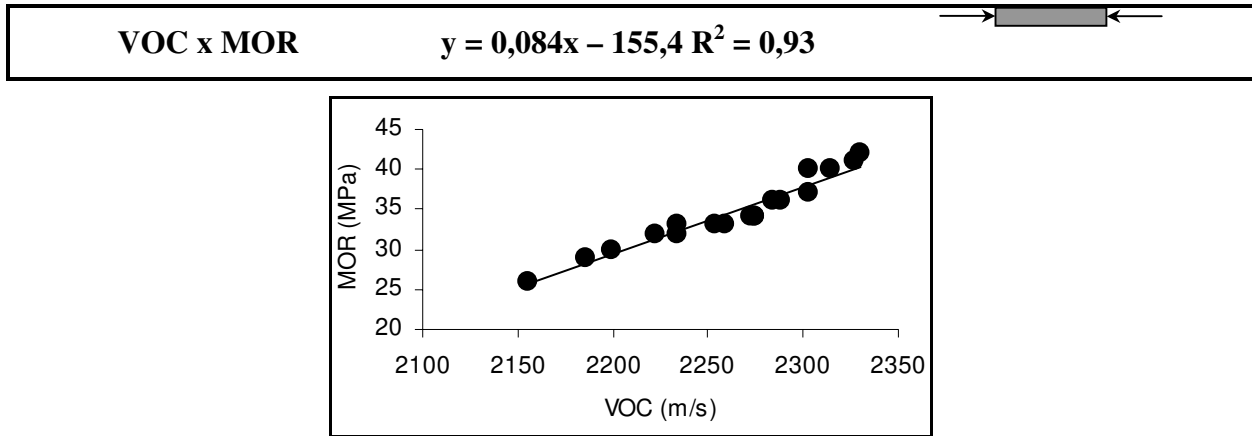


Figura 4.171 – R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE1.

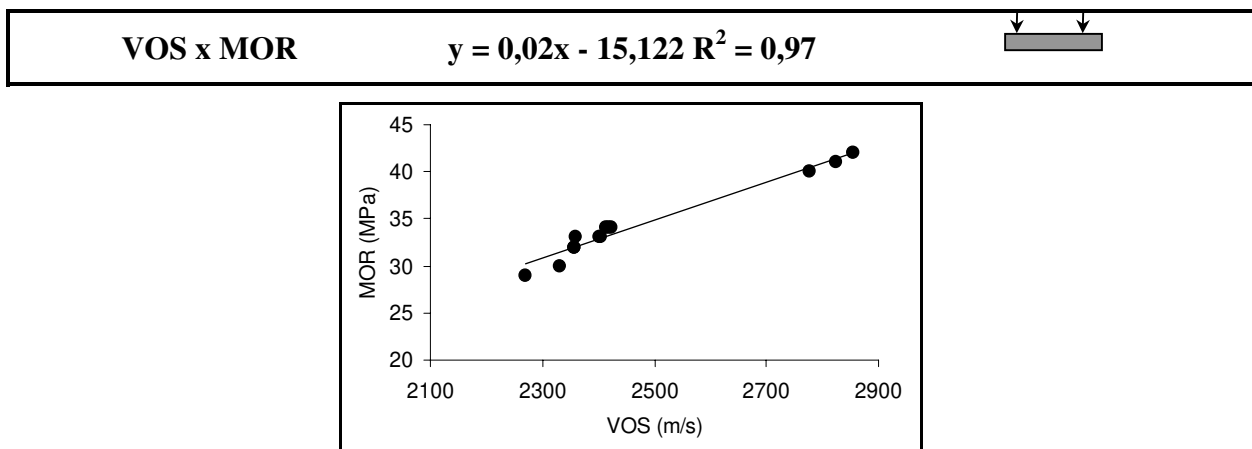


Figura 4.172 – R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE1.

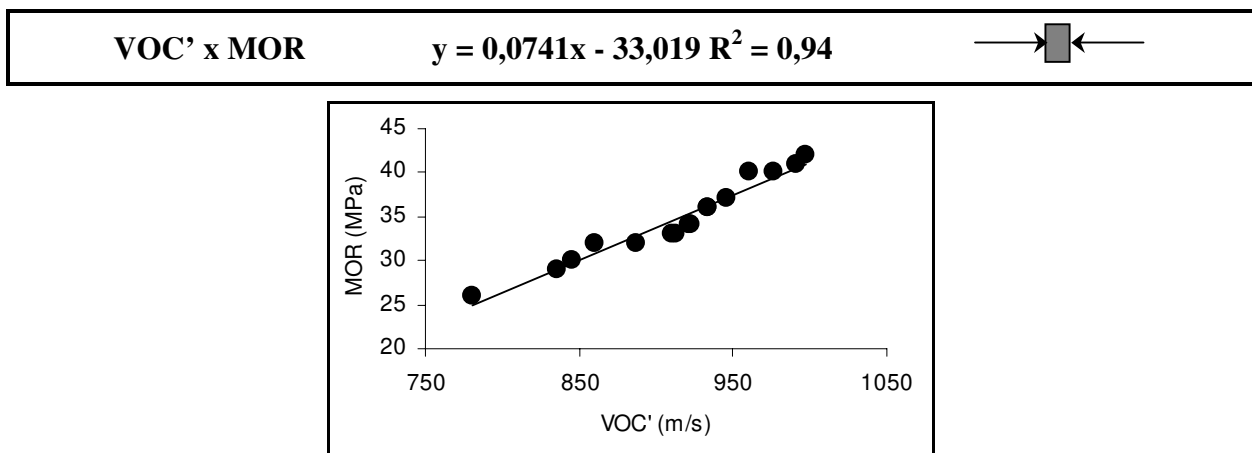


Figura 4.173 – R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE1.

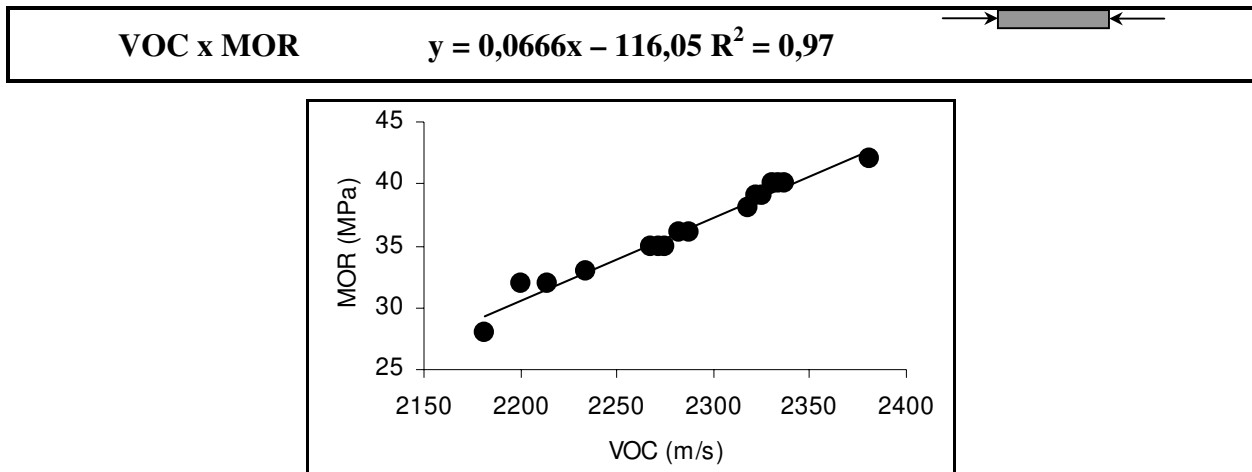


Figura 4.174 - R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE3.

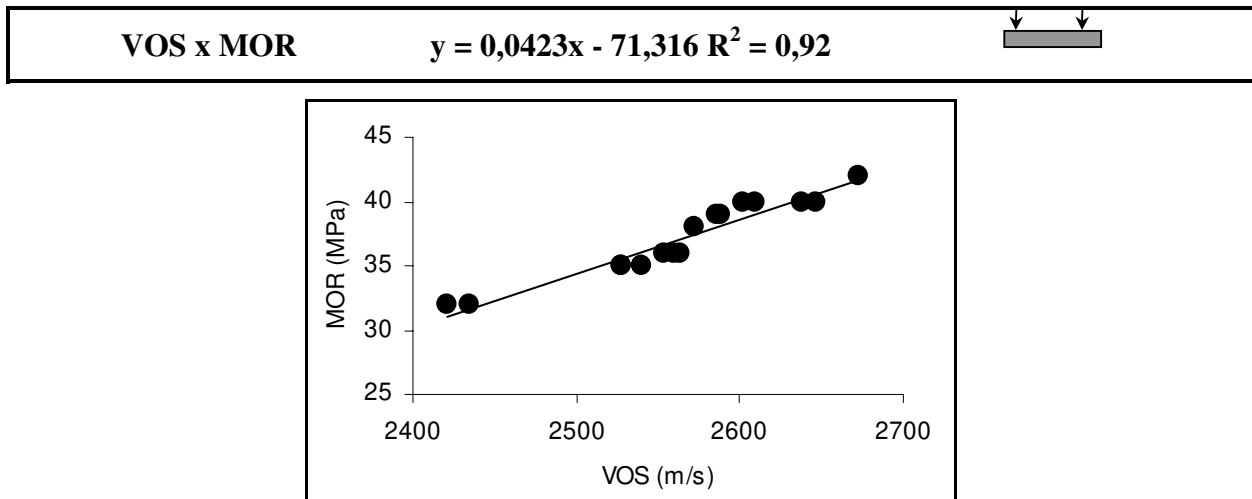


Figura 4.175 - R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE3.

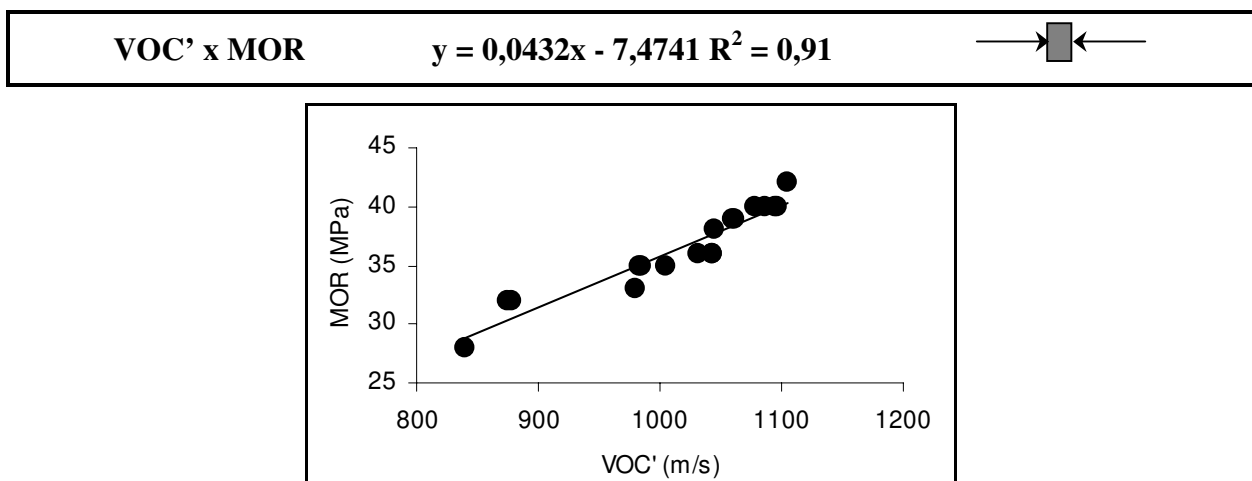


Figura 4.176 - R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE3.

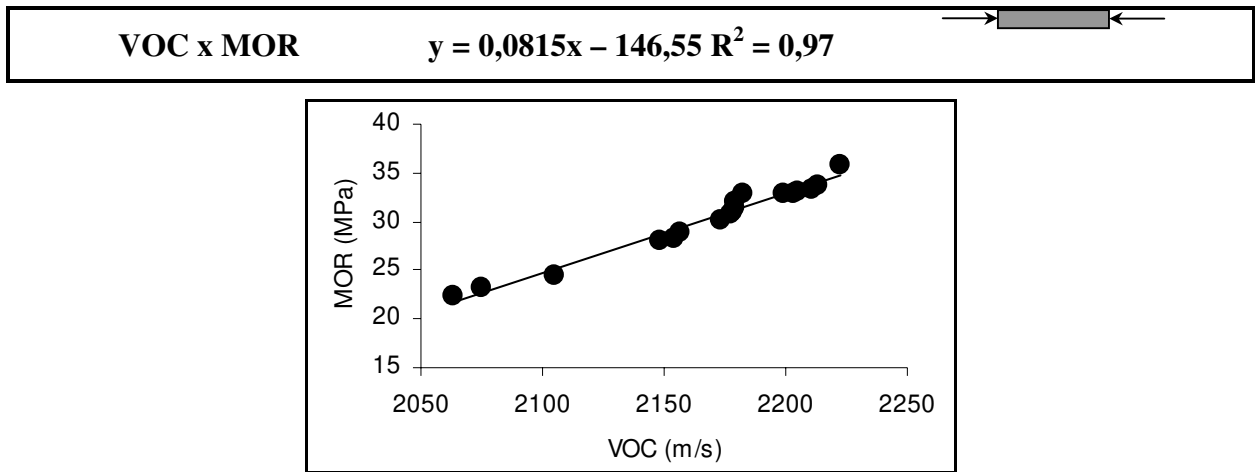


Figura 4.177 - R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE4.

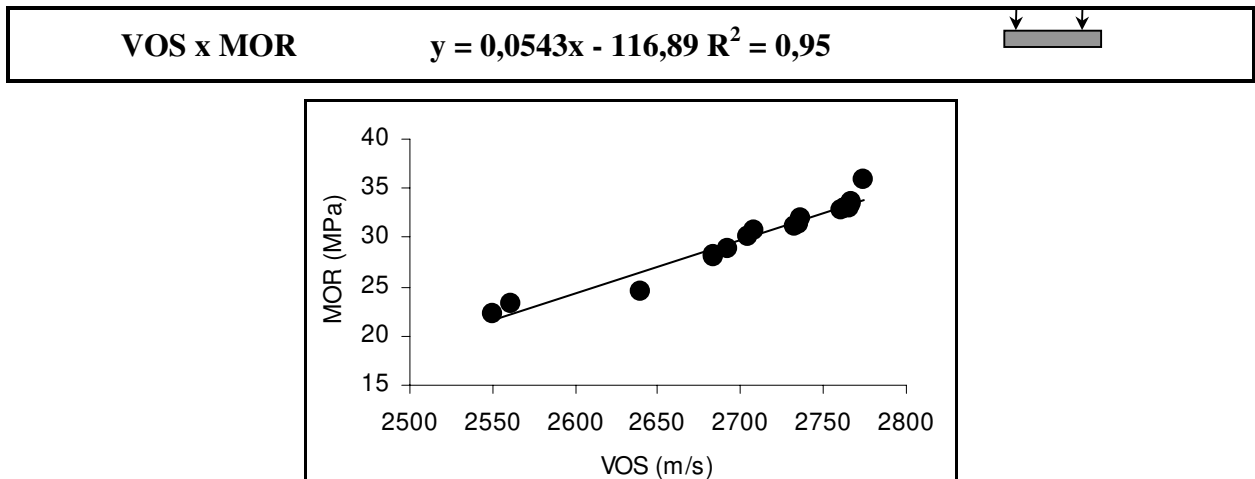


Figura 4.178 - R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE4.

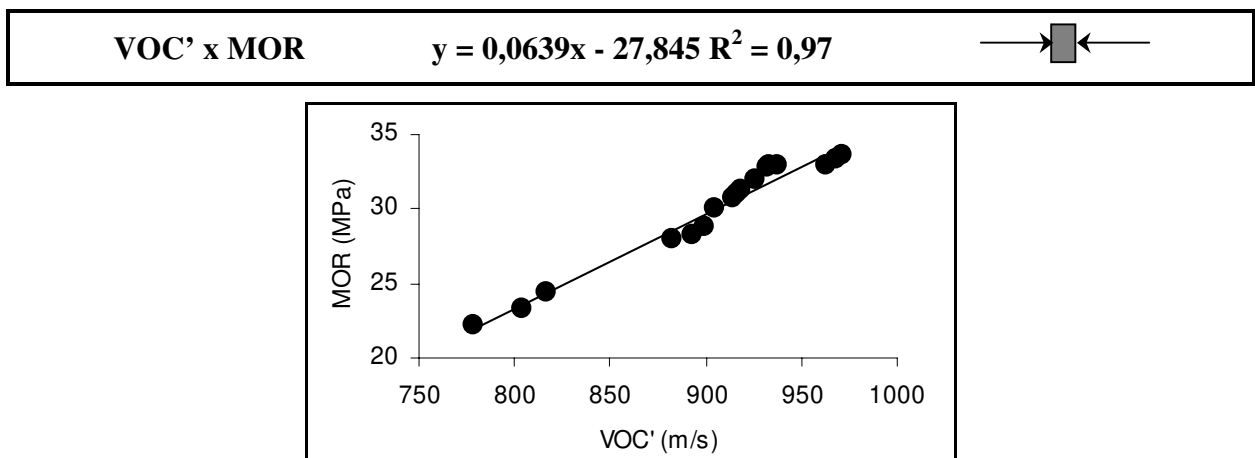


Figura 4.179 - R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE4.

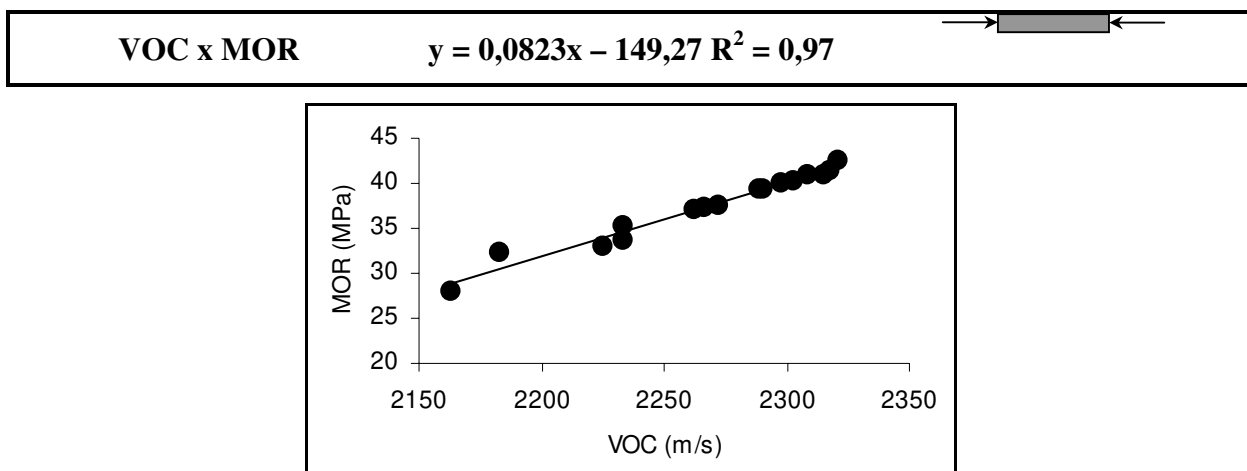


Figura 4.180 - R^2 entre VOC e MOR das chapas da CE6.

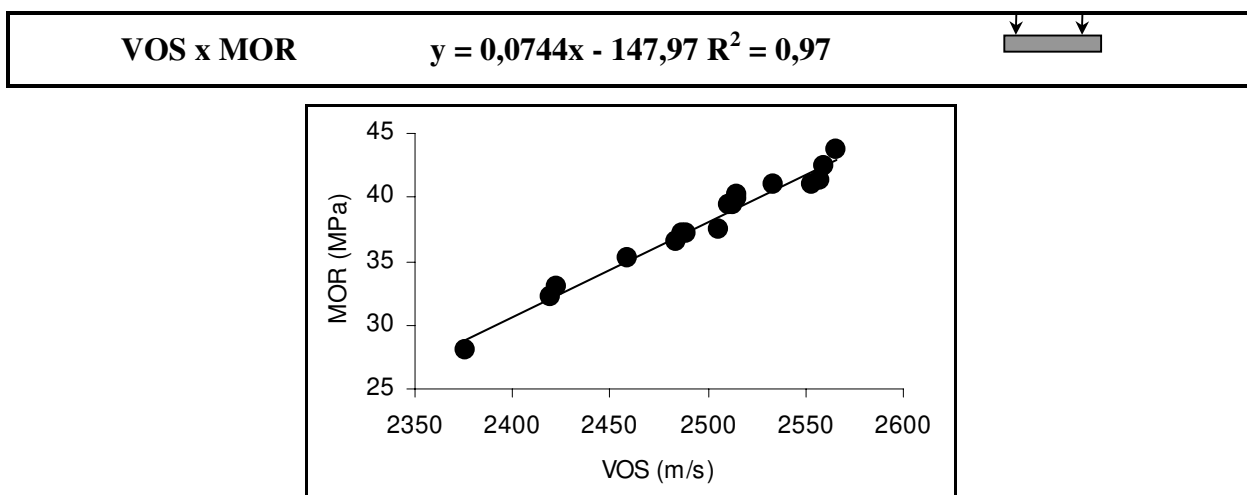


Figura 4.181 - R^2 entre VOS e MOR das chapas da CE6.

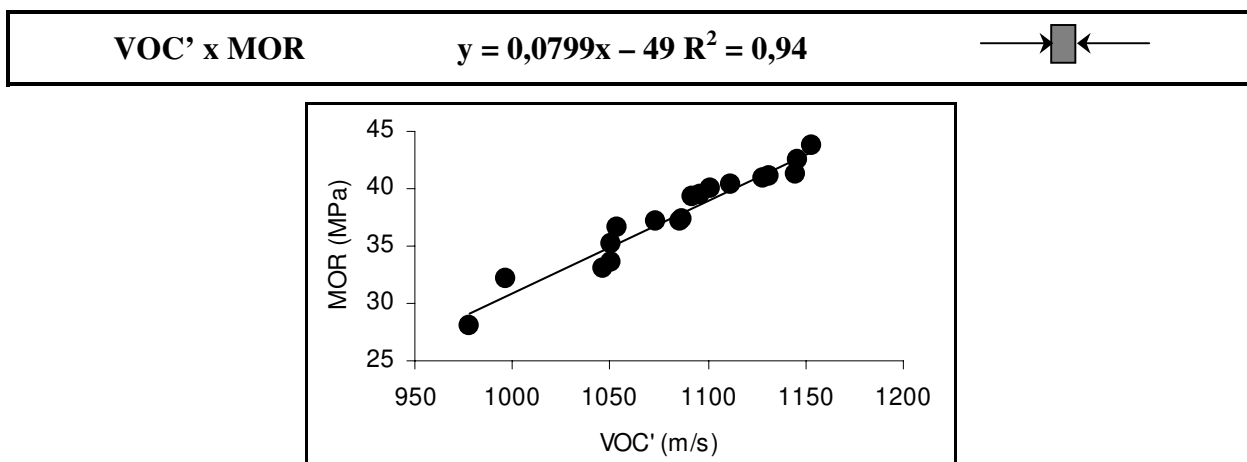


Figura 4.182 - R^2 entre VOC' e MOR das chapas da CE6.

As figuras 4.183 a 4.194 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas e o módulo de elasticidade das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.

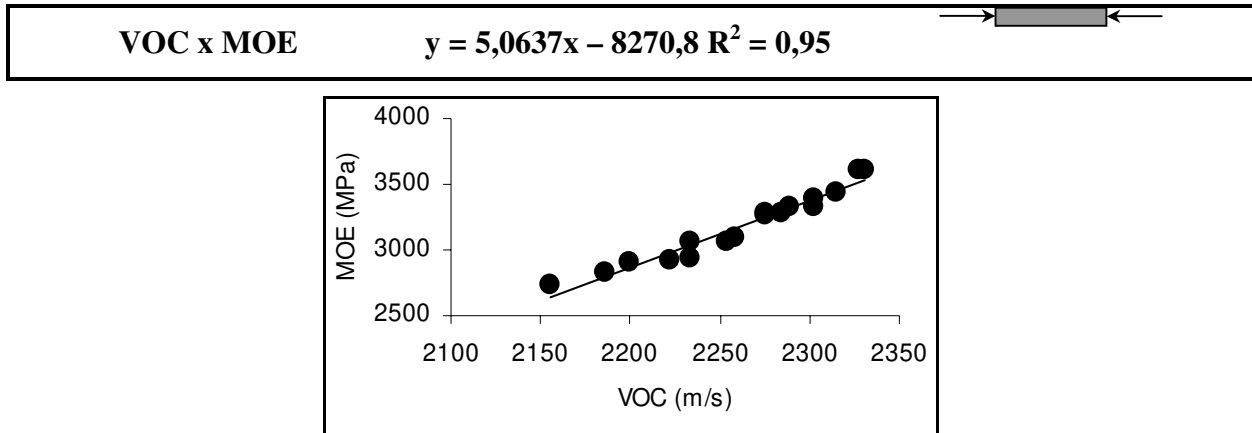


Figura 4.183 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE1.

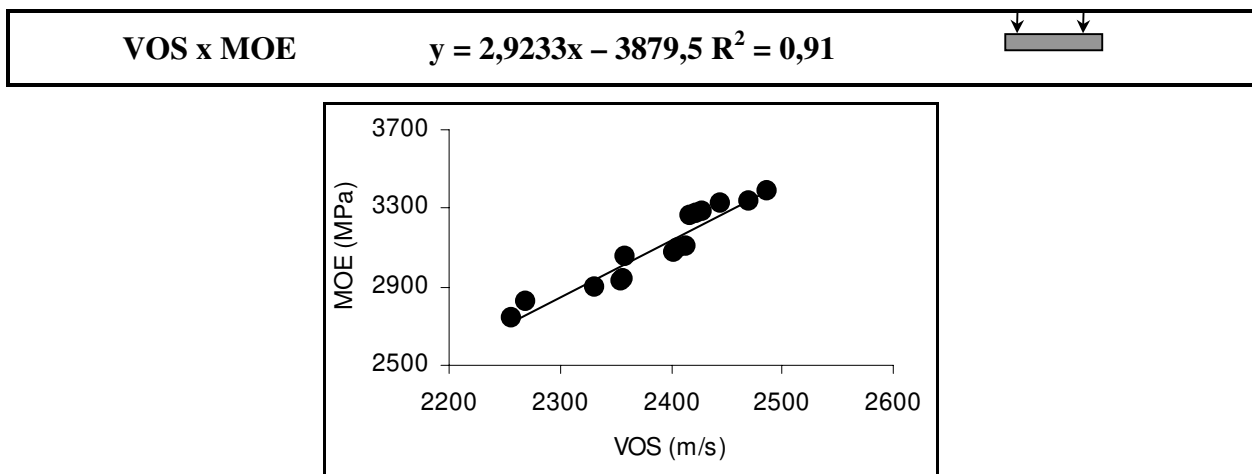


Figura 4.184 – R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE1.

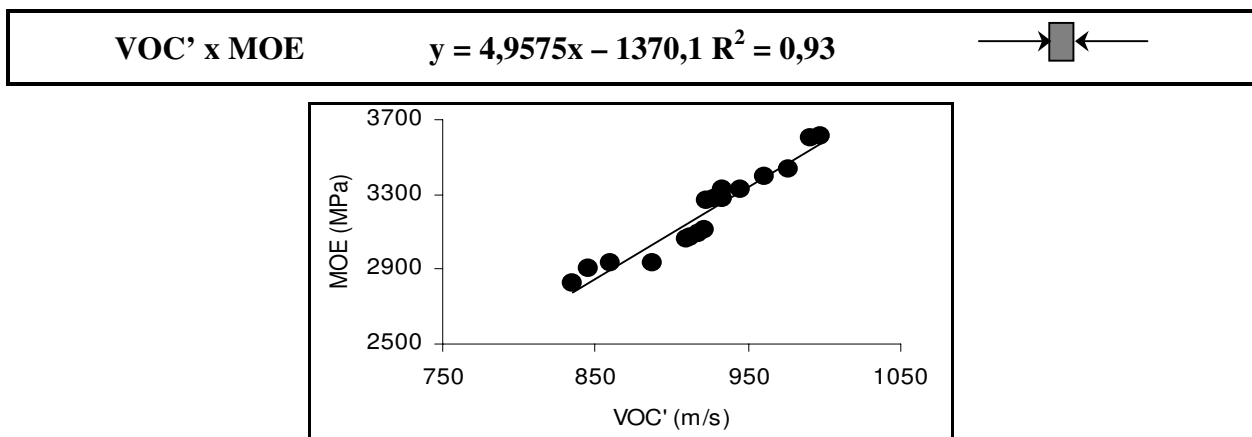


Figura 4.185 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE1.

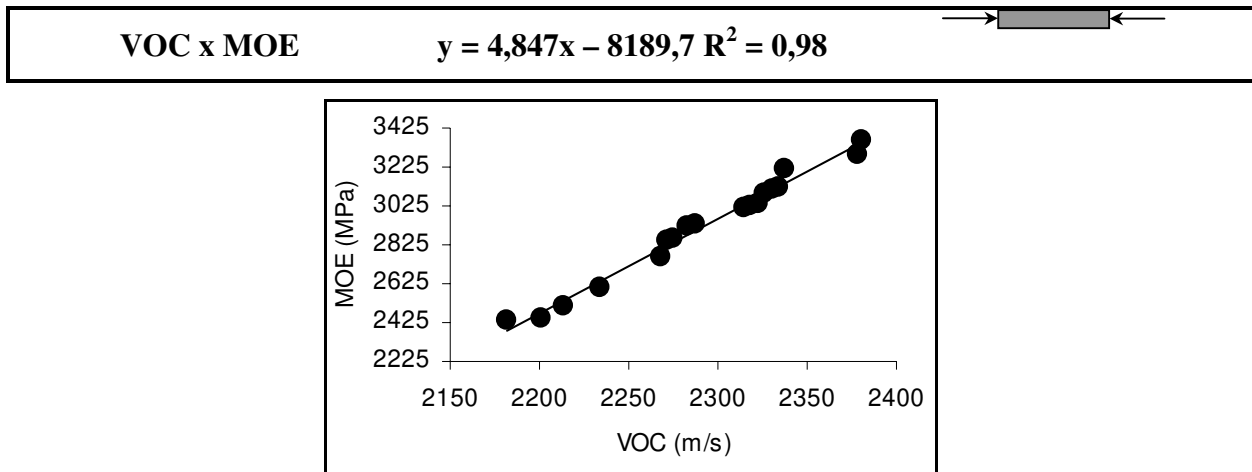


Figura 4.186 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE3.

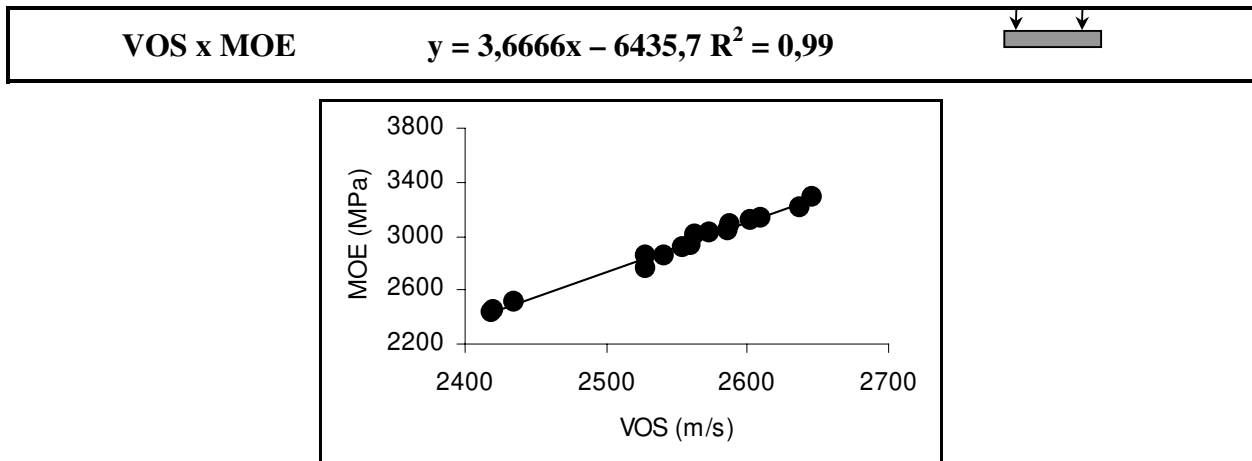


Figura 4.187 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE3.

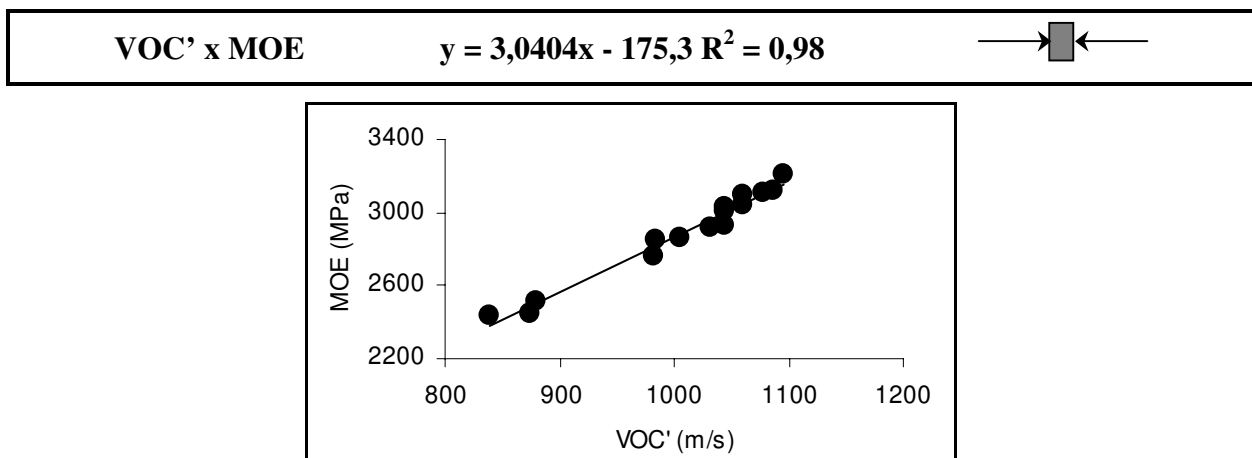


Figura 4.188 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE3.

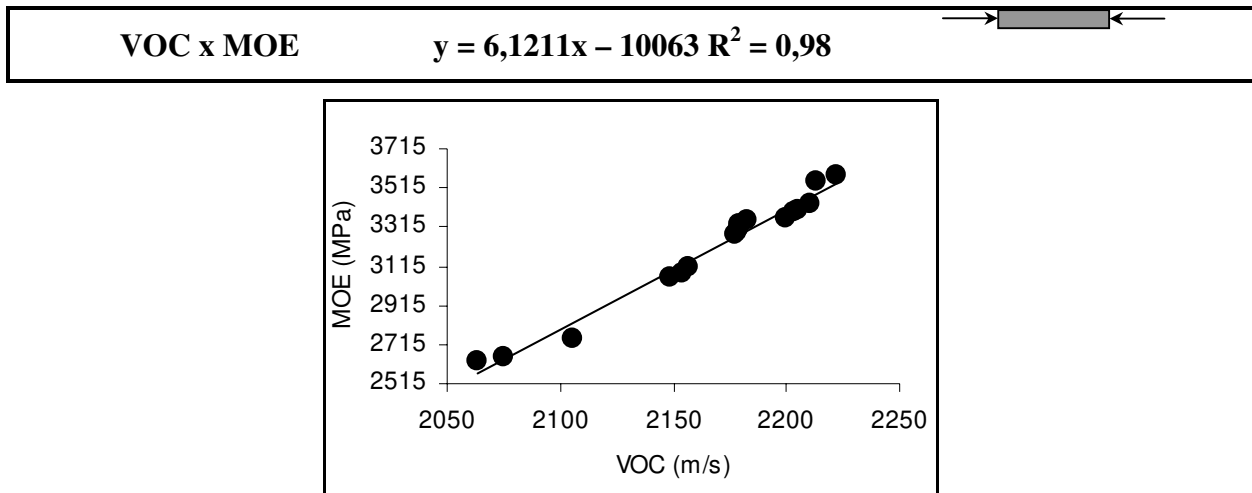


Figura 4.189 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE4.

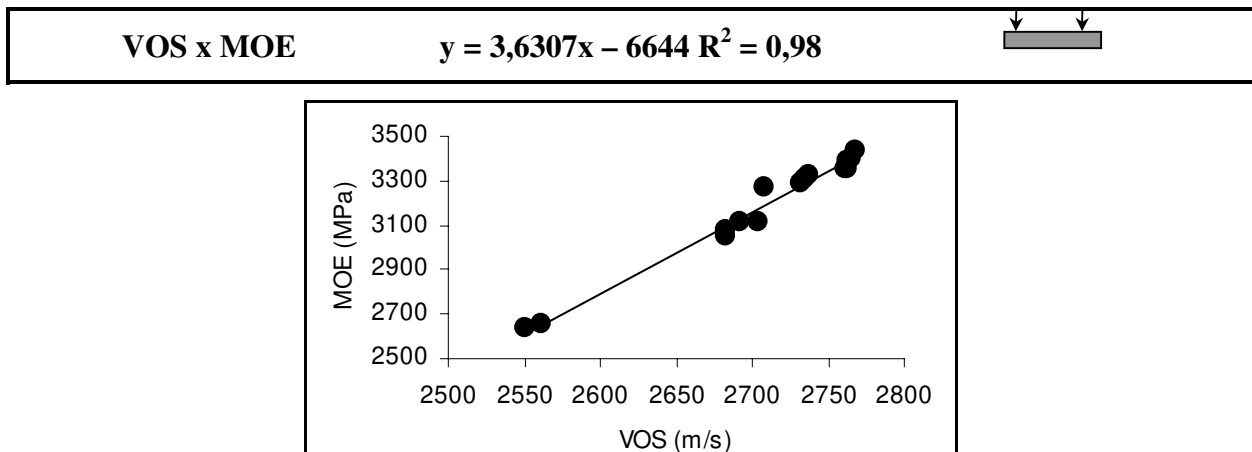


Figura 4.190 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE4.

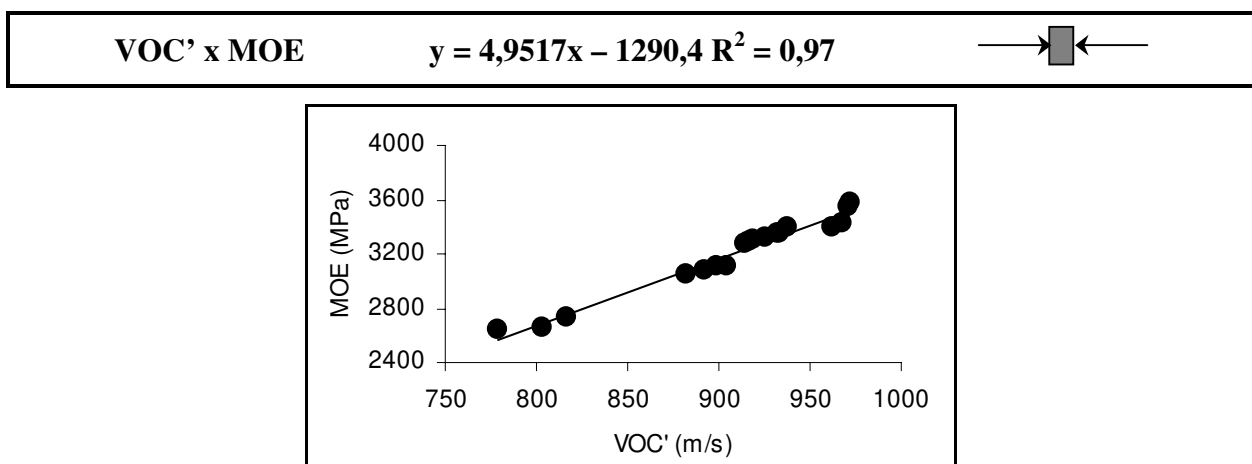


Figura 4.191 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE4.

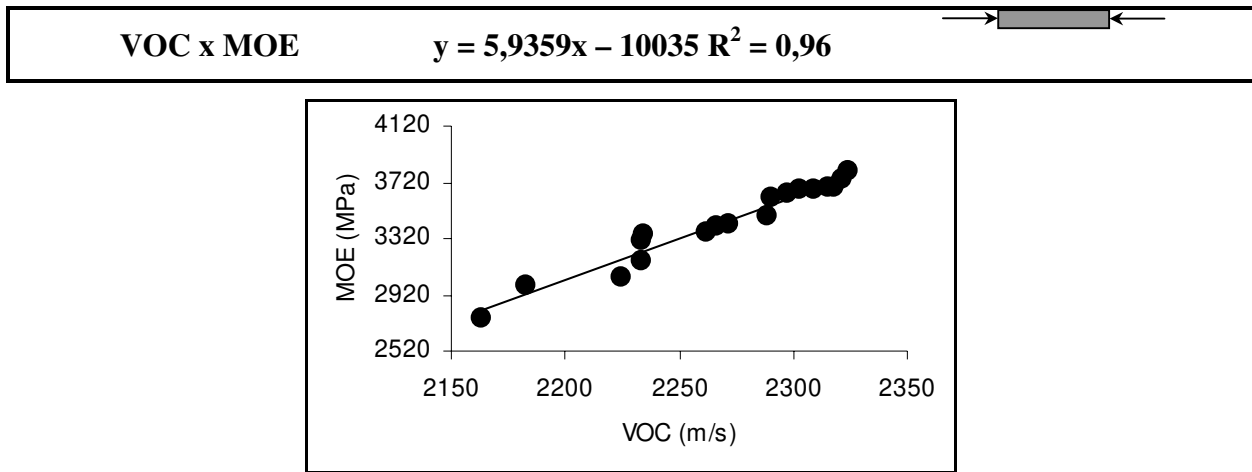


Figura 4.192 - R^2 entre VOC e MOE das chapas da CE6.

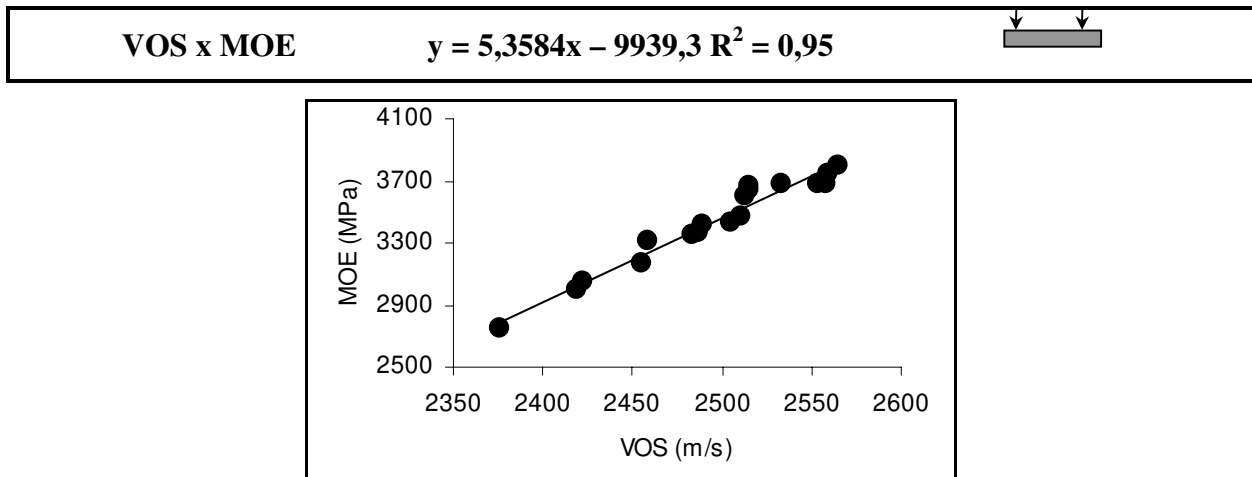


Figura 4.193 - R^2 entre VOS e MOE das chapas da CE6.

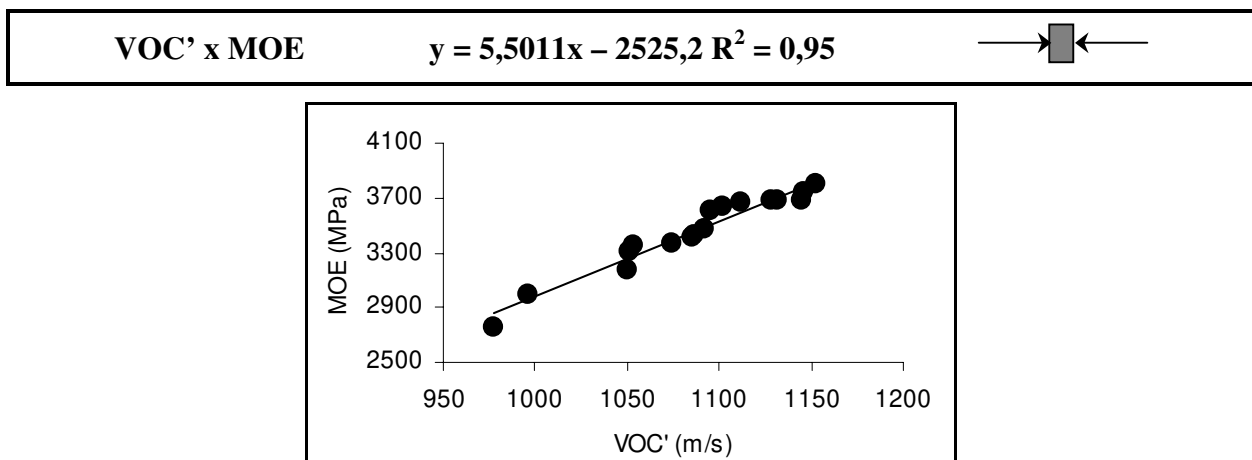


Figura 4.194 - R^2 entre VOC' e MOE das chapas da CE6.

As Figuras 4.195 a 4.206 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas e o módulo de resistência à tração perpendicular das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.

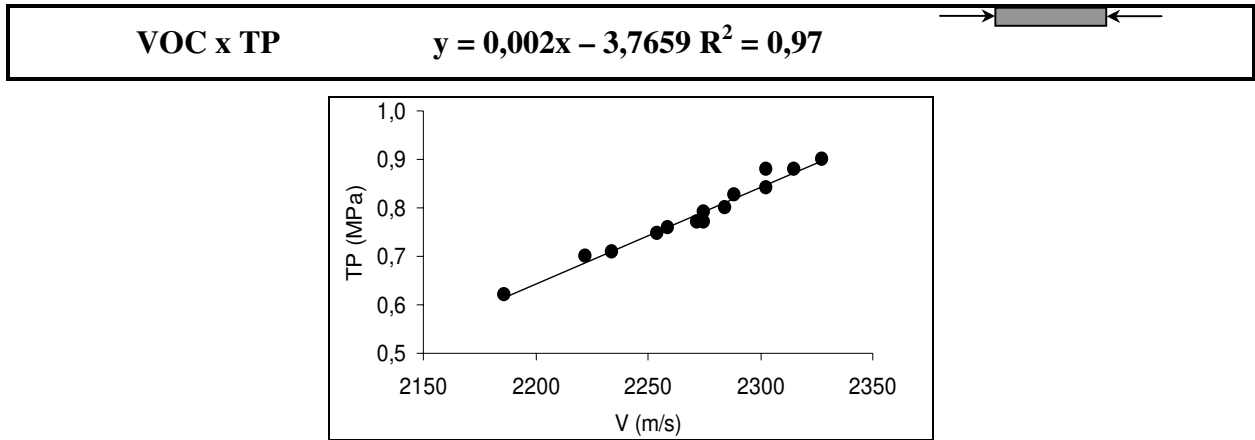


Figura 4.195 – R^2 entre VOC e TP das chapas da CE1.

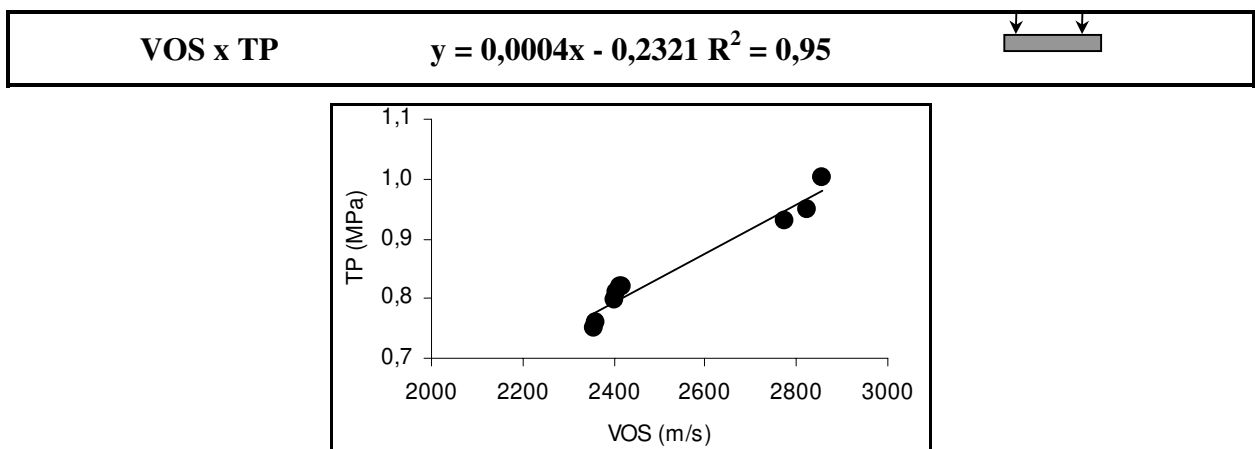


Figura 4.196 – R^2 entre VOS e TP das chapas da CE1.

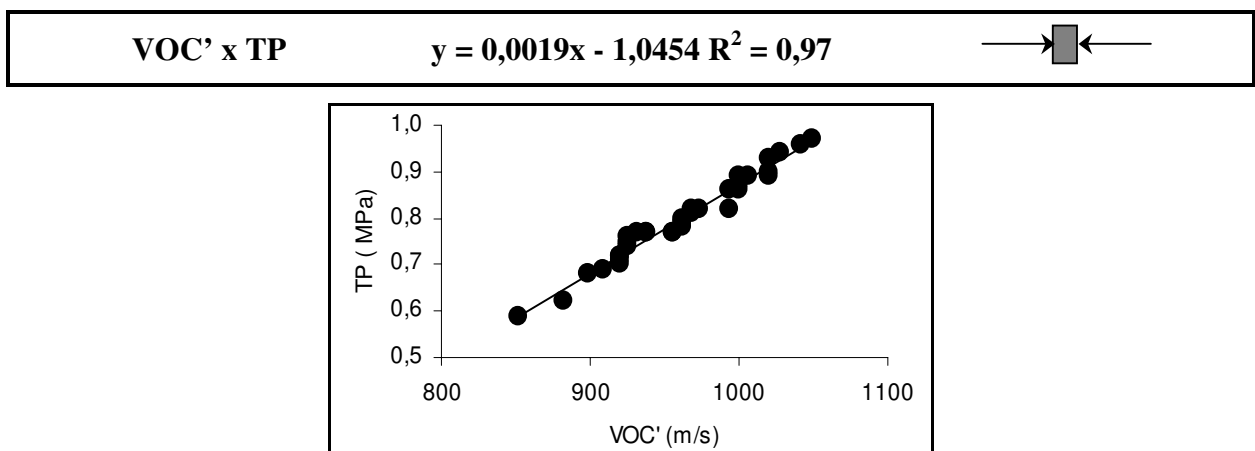


Figura 4.197 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE1.

VOC x TP $y = 0,0023x - 0,40036 R^2 = 0,99$ 

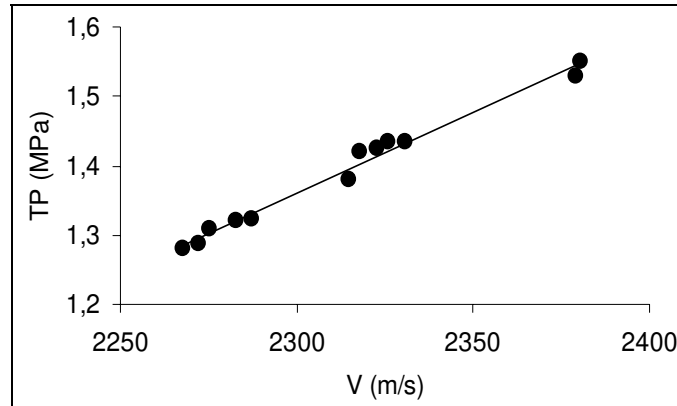


Figura 4.198 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE3.

VOS x TP $y = 0,002x - 3,7383 R^2 = 0,97$ 

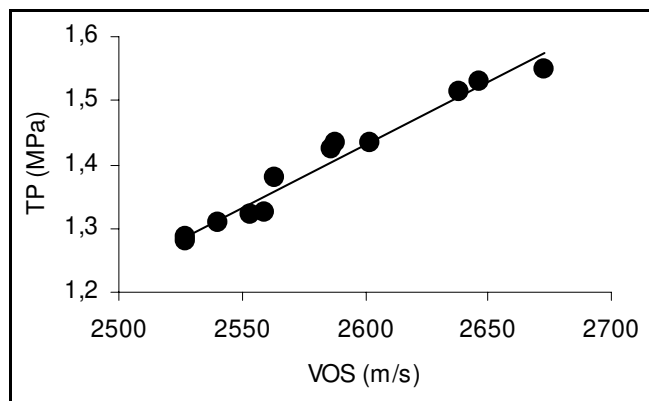
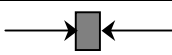


Figura 4.199 - R^2 entre VOS e TP das chapas da CE3.

VOC' x TP $y = 0,00017x - 0,4508 R^2 = 0,98$ 

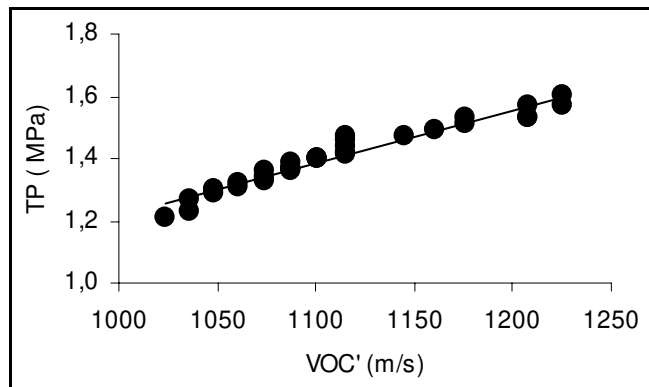


Figura 4.200 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE3.

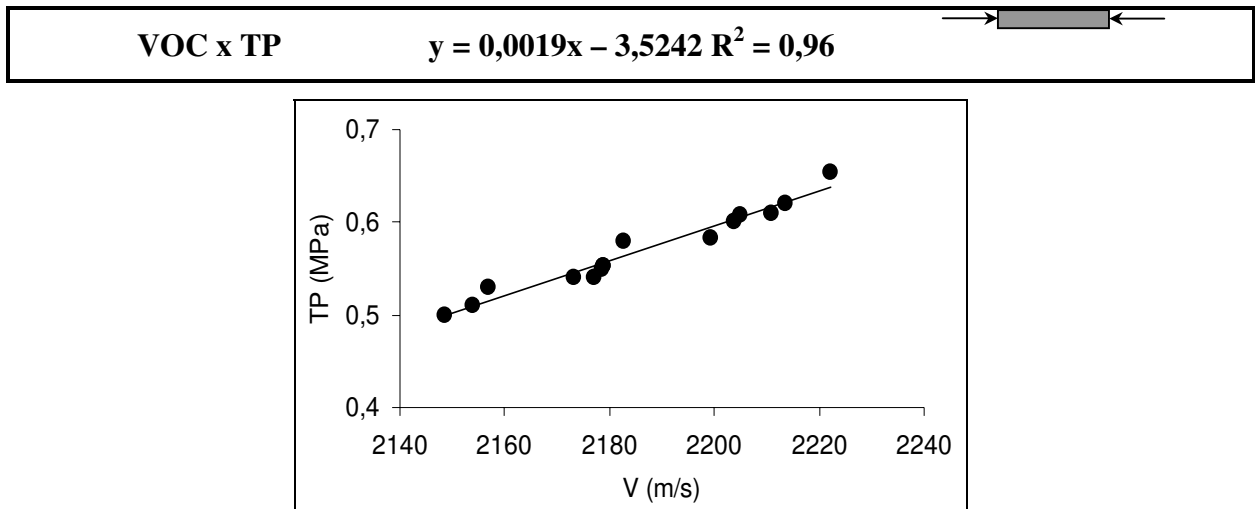


Figura 4.201 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE4.

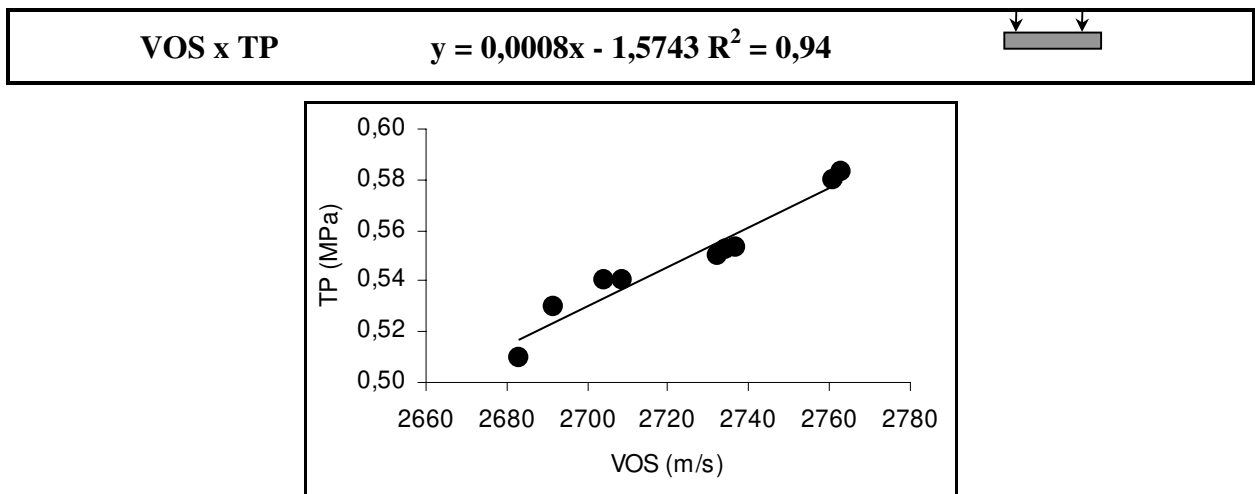


Figura 4.202 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE4.

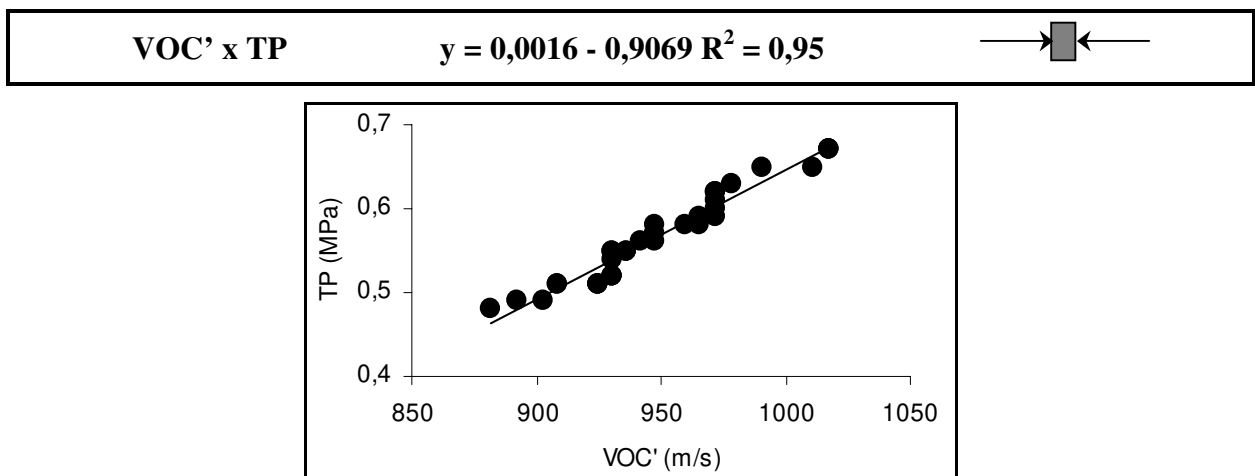


Figura 4.203 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE4.

VOC x TP $y = 0,0017x - 2,8913 \quad R^2 = 0,98$ 

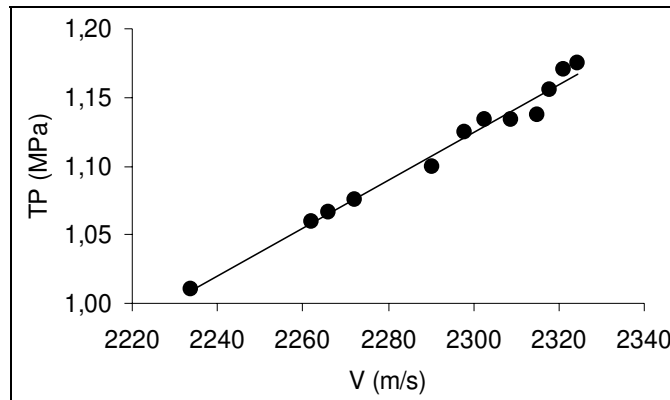


Figura 4.204 - R^2 entre VOC e TP das chapas da CE6.

VOS x TP $y = 0,0011x - 1,7113 \quad R^2 = 0,94$ 

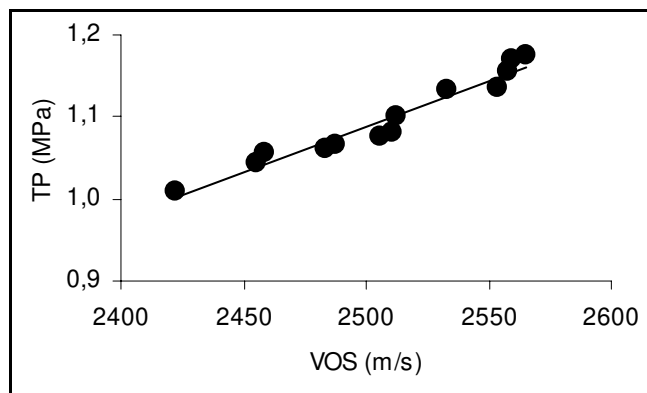


Figura 4.205 - R^2 entre VOS e TP das chapas da CE6.

VOC' x TP $y = 0,0022x - 1,3776 \quad R^2 = 0,96$ 

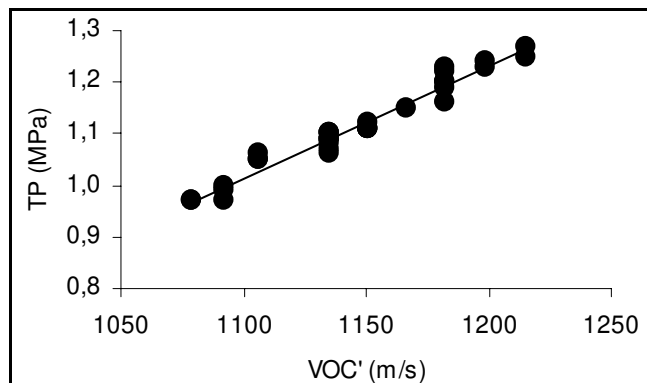


Figura 4.206 - R^2 entre VOC' e TP das chapas da CE6.

As figuras 4.207 a 4.218 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre Velocidade e Tração Superficial das chapas das condições experimentais 1, 3, 4 e 6.

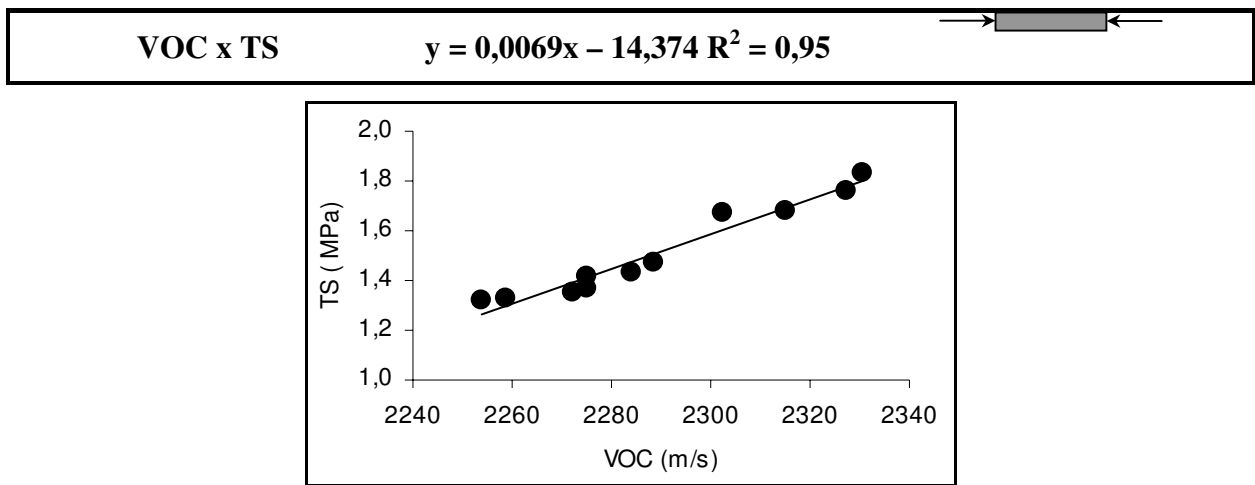


Figura 4.207 - R^2 entre VOC e TS das chapas da CE1.

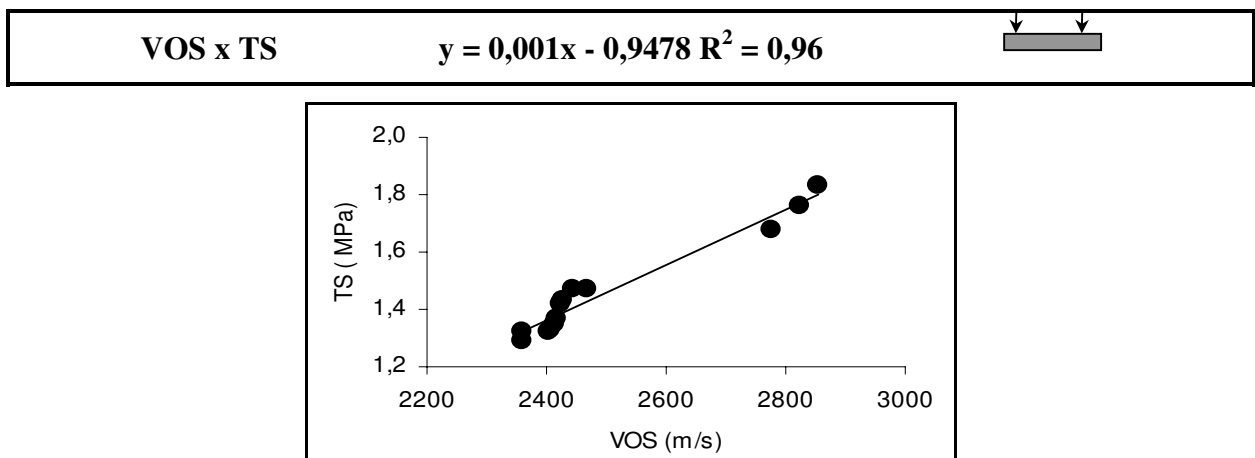


Figura 4.208 - R^2 entre VOS e TS das chapas da CE1.

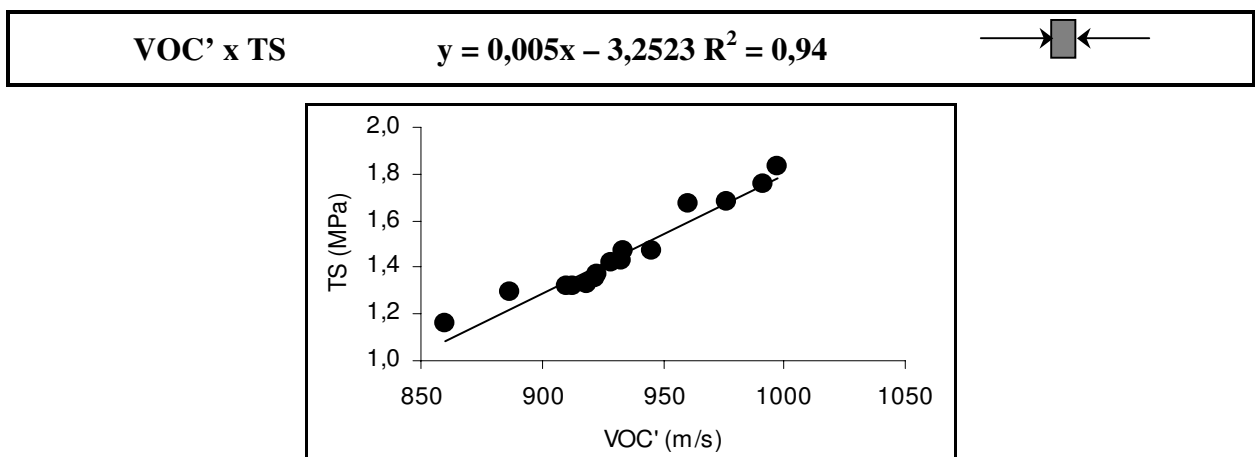


Figura 4.209 - R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE1.

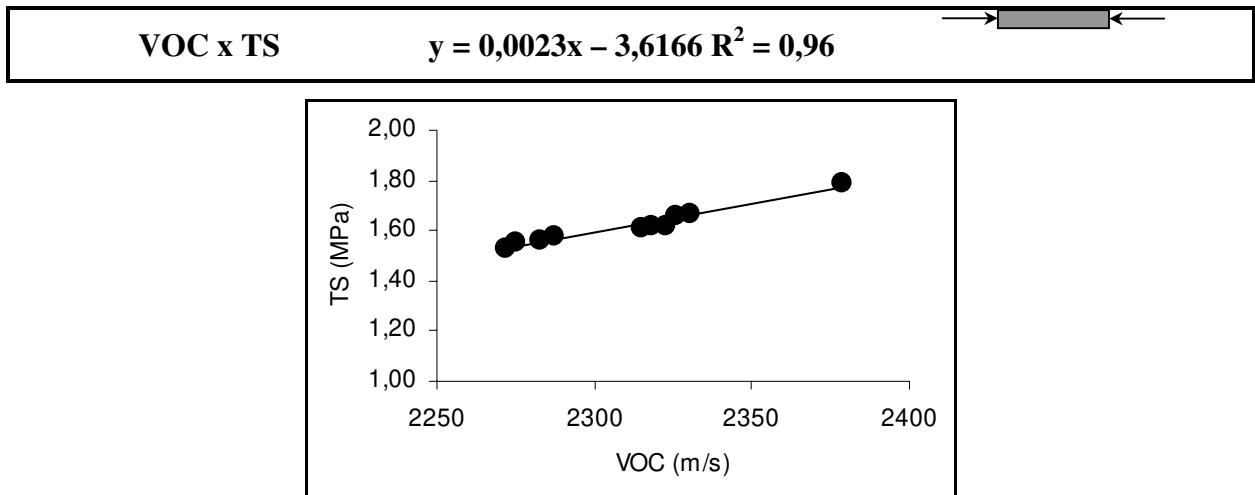


Figura 4.210 - R^2 entre VOC e TS das chapas da CE3.

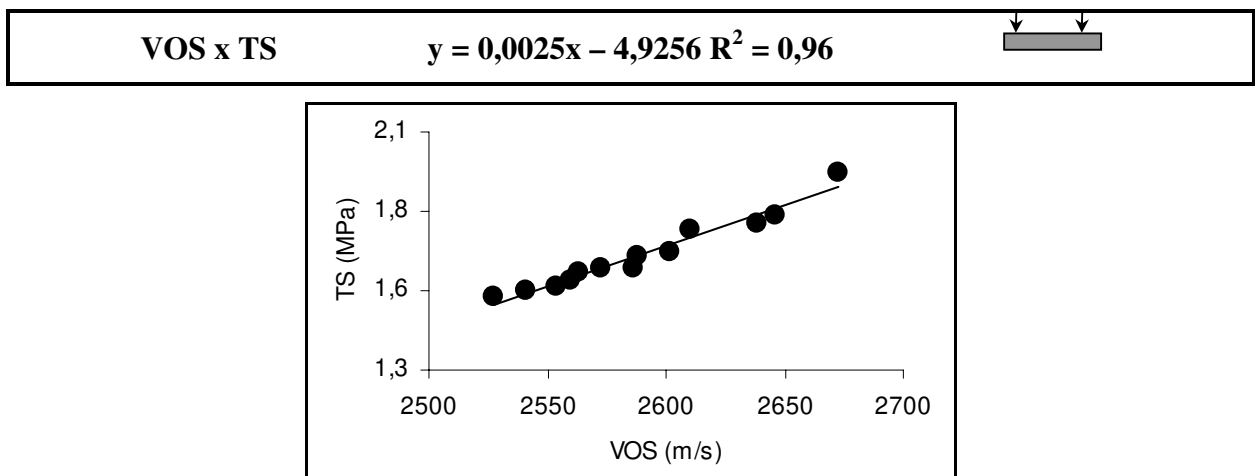


Figura 4.211 - R^2 entre VOS e TS das chapas da CE3.

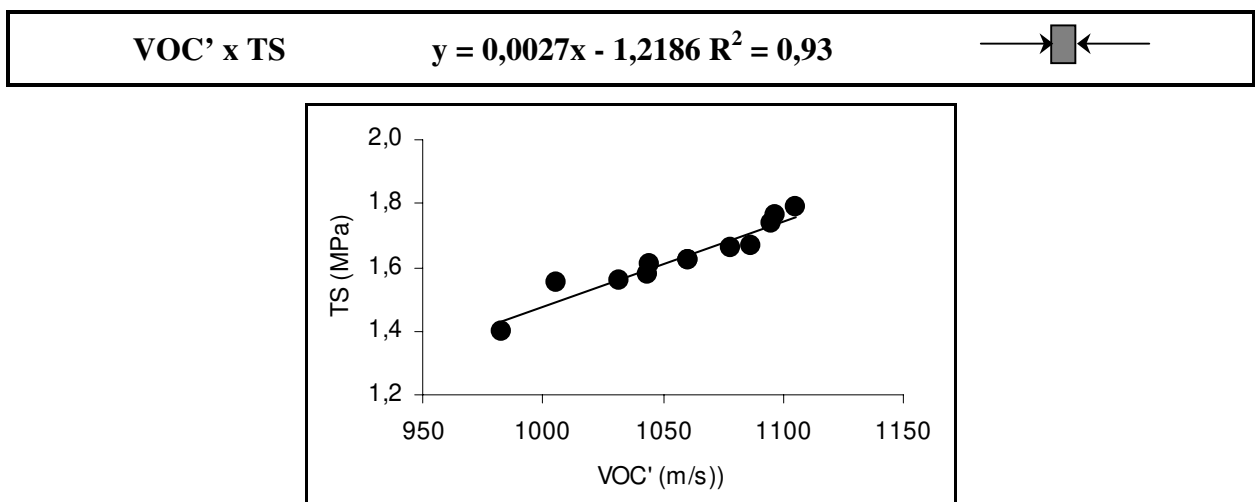


Figura 4.212 - R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE3.

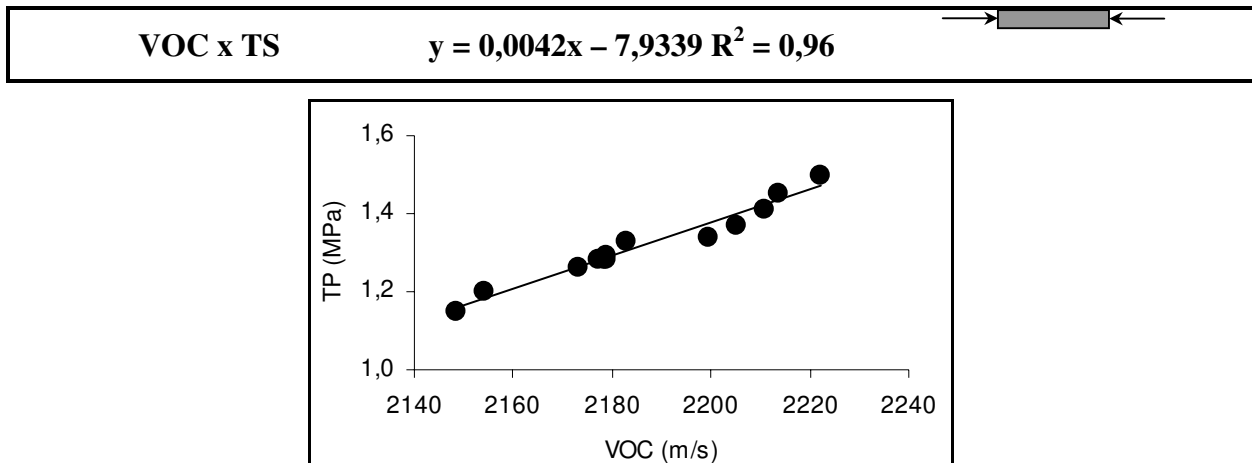


Figura 4.213 - R^2 entre VOC e TS das chapas da CE4.

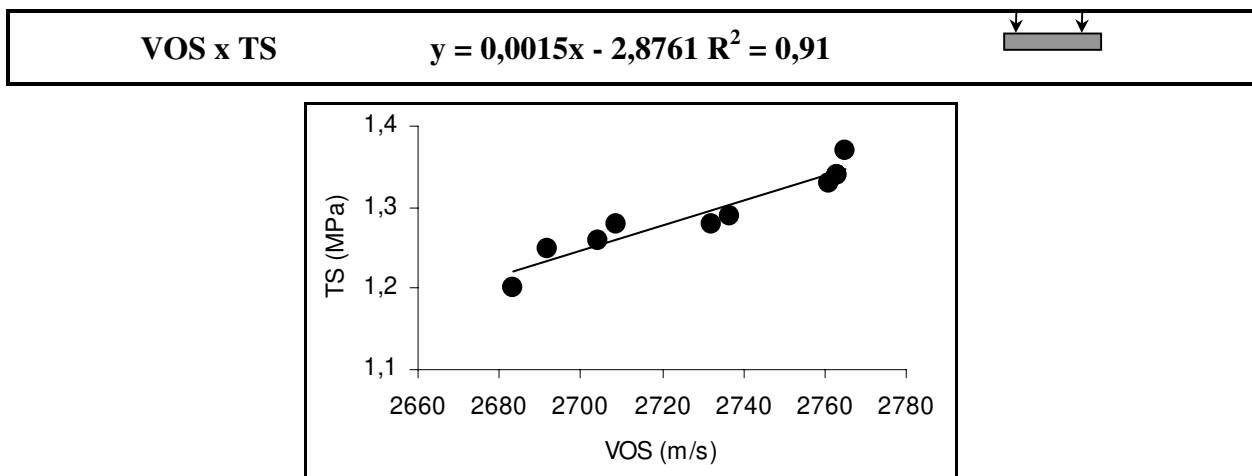


Figura 4.214 - R^2 entre VOS e TS das chapas da CE4.

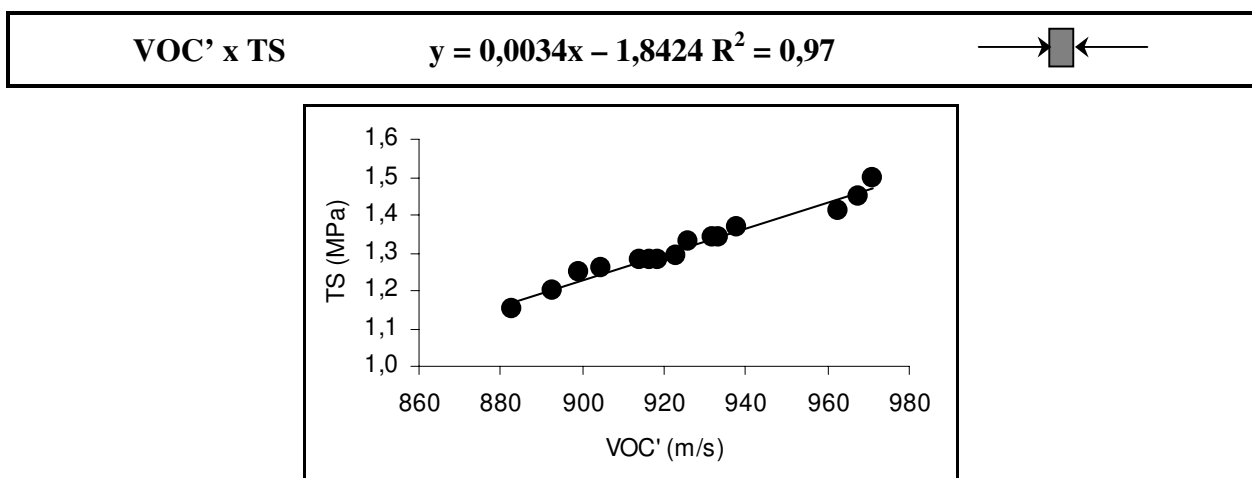


Figura 4.215 - R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE4.

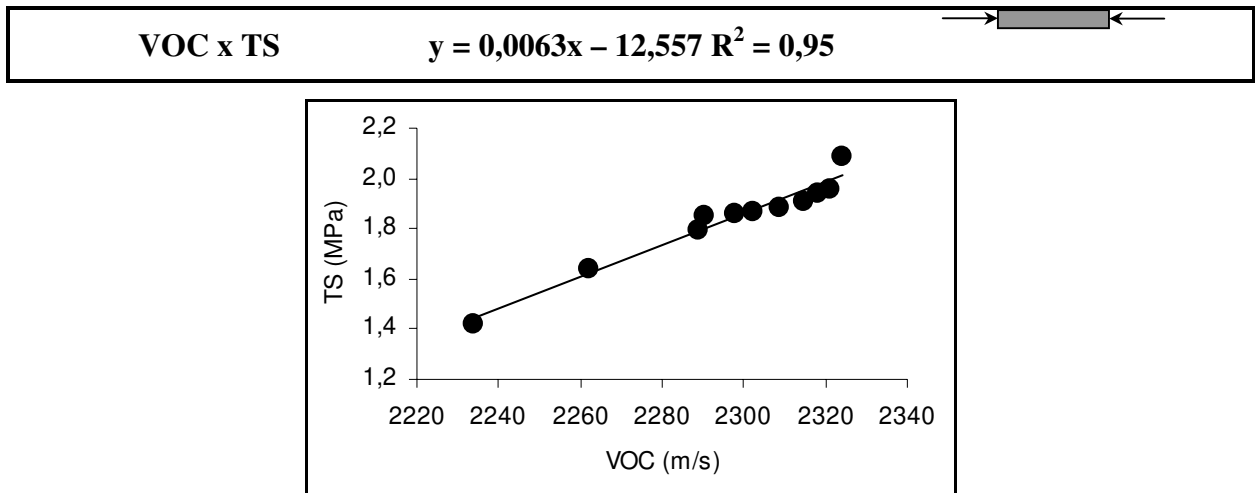


Figura 4.216 - R^2 entre VOC e TS das chapas da CE6.

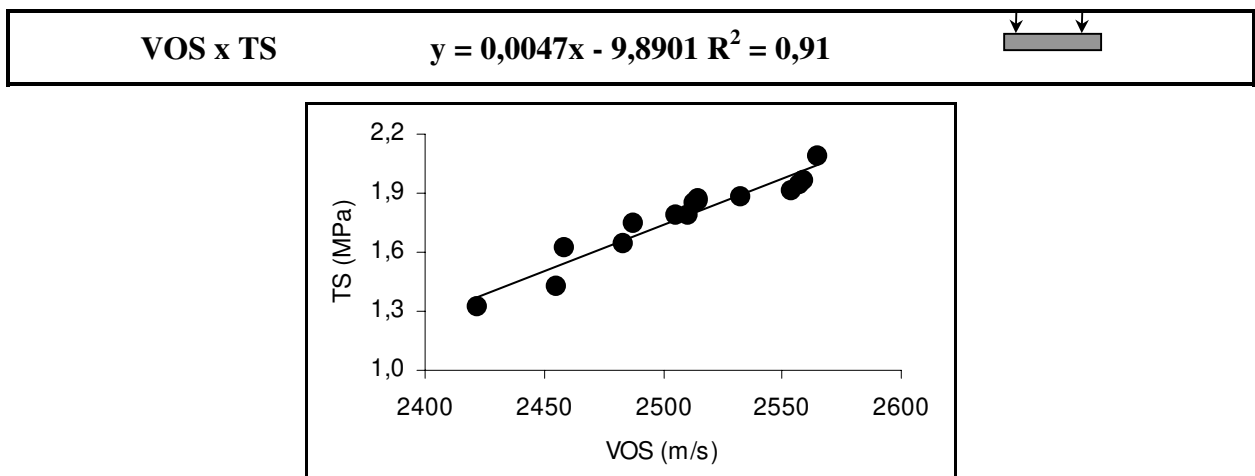


Figura 4.217 - R^2 entre VOS e TS das chapas da CE6.

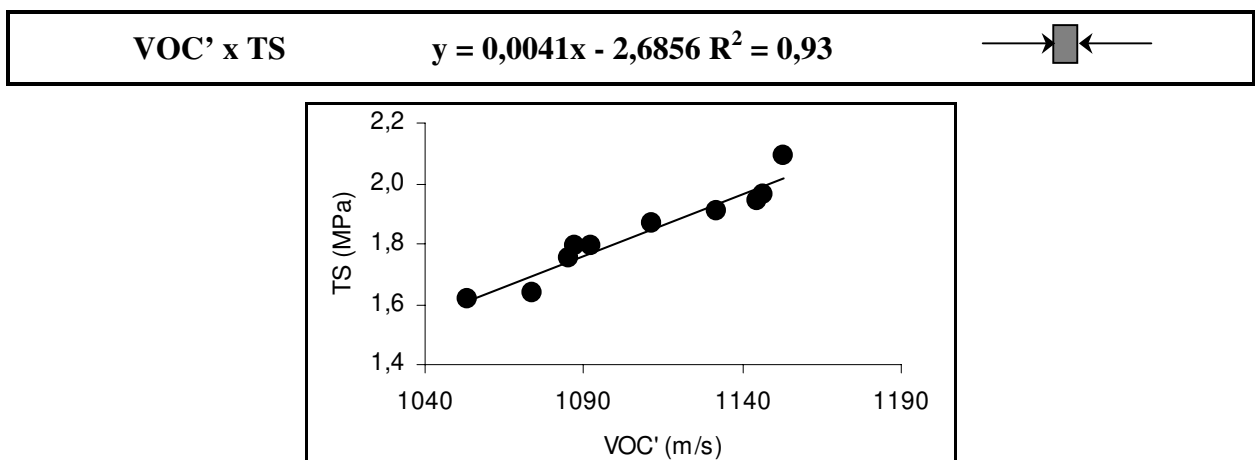


Figura 4.218 - R^2 entre VOC' e TS das chapas da CE6.

A tabela 4.10 apresenta os coeficientes de determinação entre as velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas e as propriedades das chapas.

Tabela 4.10 - Coeficientes de determinação (R^2) entre velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas e as propriedades das chapas

		Coeficiente de determinação R^2		
				
CE1	VO x δ	0,99	0,98	0,99
	VO x MOR	0,93	0,97	0,94
	VO x MOE	0,95	0,91	0,93
	VO x TP	0,97	0,95	0,97
	VO x TS	0,95	0,96	0,94
CE3	VO x δ	0,97	0,96	0,99
	VO x MOR	0,97	0,92	0,91
	VO x MOE	0,98	0,99	0,98
	VO x TP	0,99	0,97	0,95
	VO x TS	0,96	0,96	0,93
CE4	VO x δ	0,94	0,95	0,98
	VO x MOR	0,97	0,95	0,97
	VO x MOE	0,98	0,98	0,97
	VO x TP	0,96	0,94	0,95
	VO x TS	0,96	0,91	0,97
CE6	VO x δ	0,94	0,96	0,98
	VO x MOR	0,97	0,97	0,94
	VO x MOE	0,96	0,95	0,95
	VO x TP	0,98	0,94	0,96
	VO x TS	0,95	0,91	0,97

Na tabela 4.10, observa-se que todos os coeficientes de determinação (R^2) são significativos, ou seja, iguais ou superiores a 91 %. Esses valores indicam a possibilidade de utilização das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas para inferir sobre as propriedades das chapas.

As figuras 4.219 a 4.230 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas e as densidades das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.

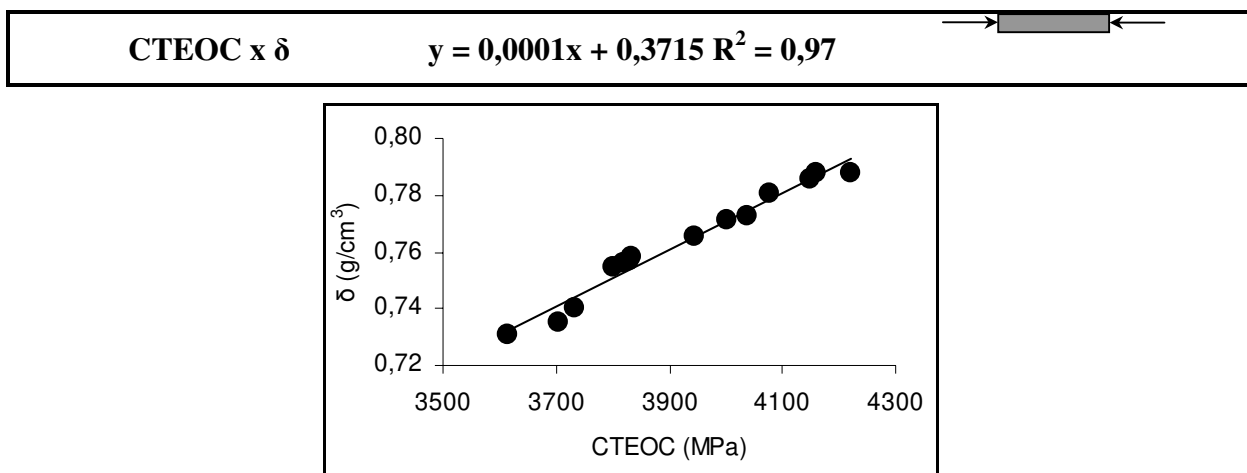


Figura 4.219 - R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE1.

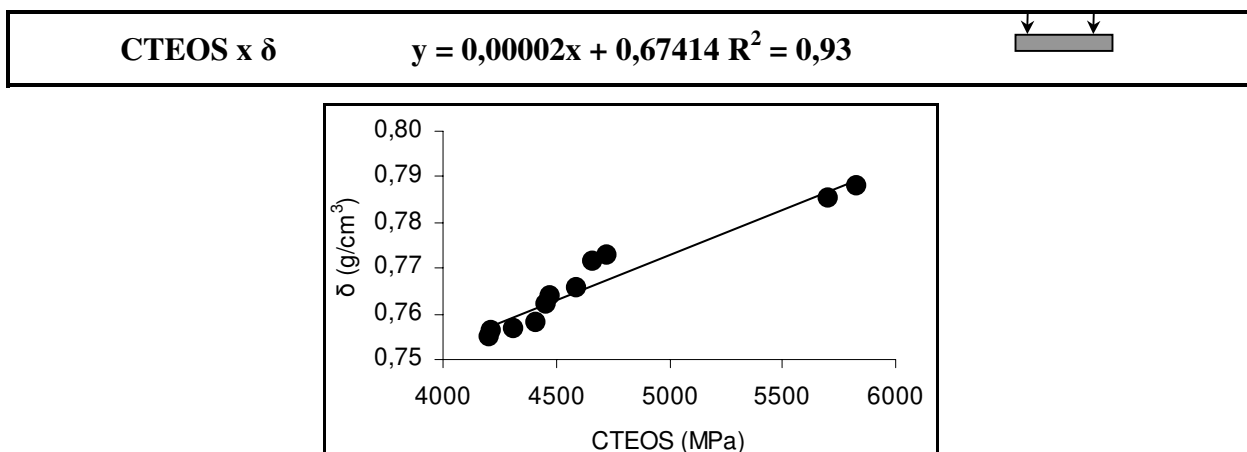


Figura 4.220 - R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE1.

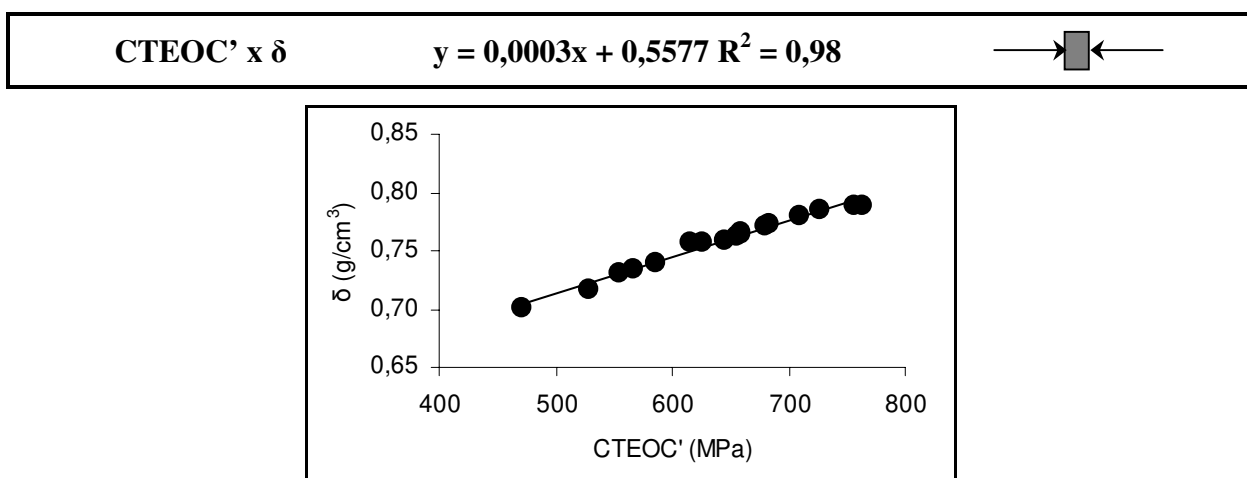


Figura 4.221 - R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE1.

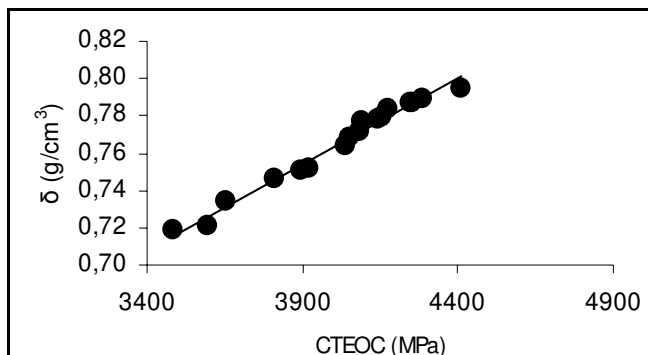
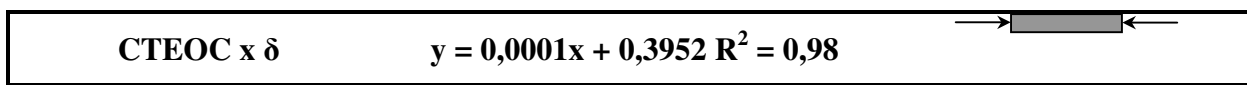


Figura 4.222 - R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE3.

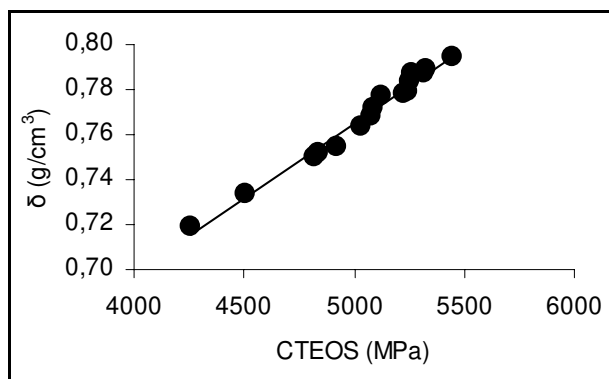
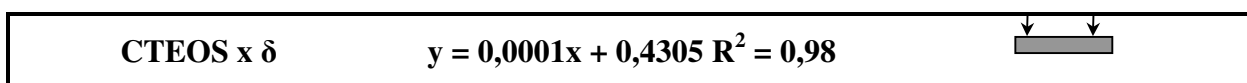


Figura 4.223 - R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE3.

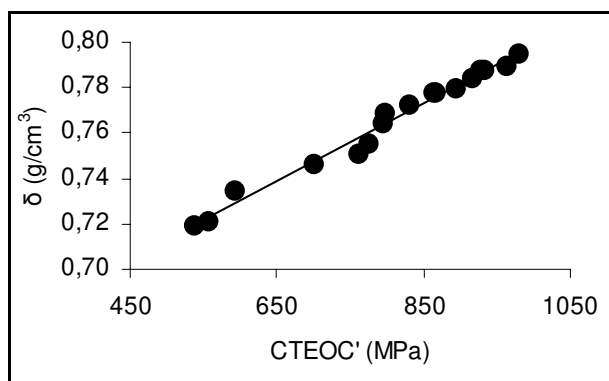
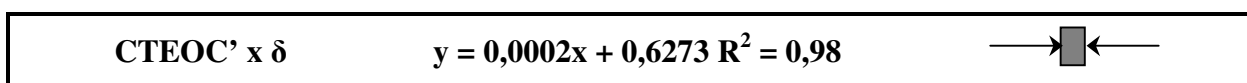


Figura 4.224 - R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE3.

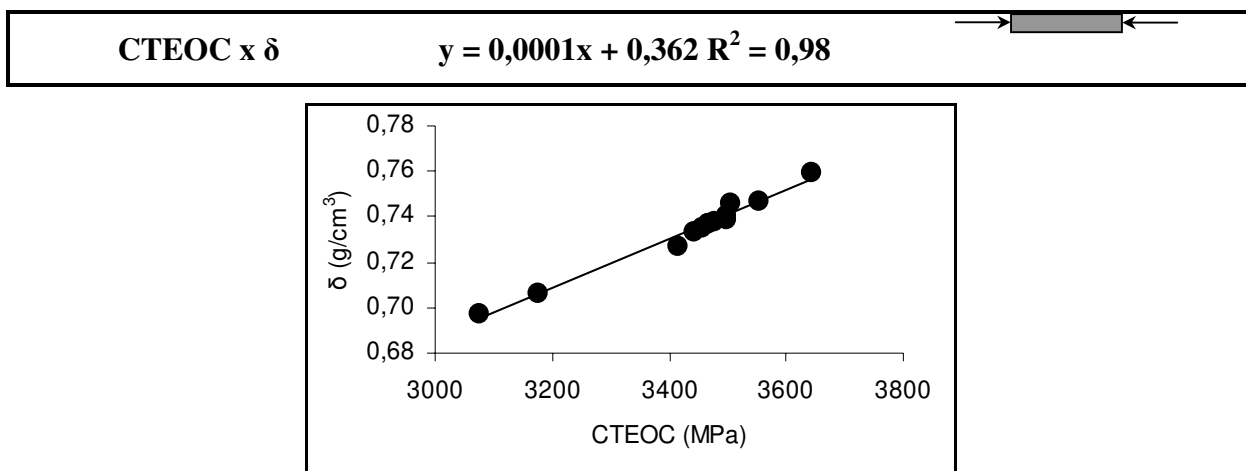


Figura 4.225 - R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE4.

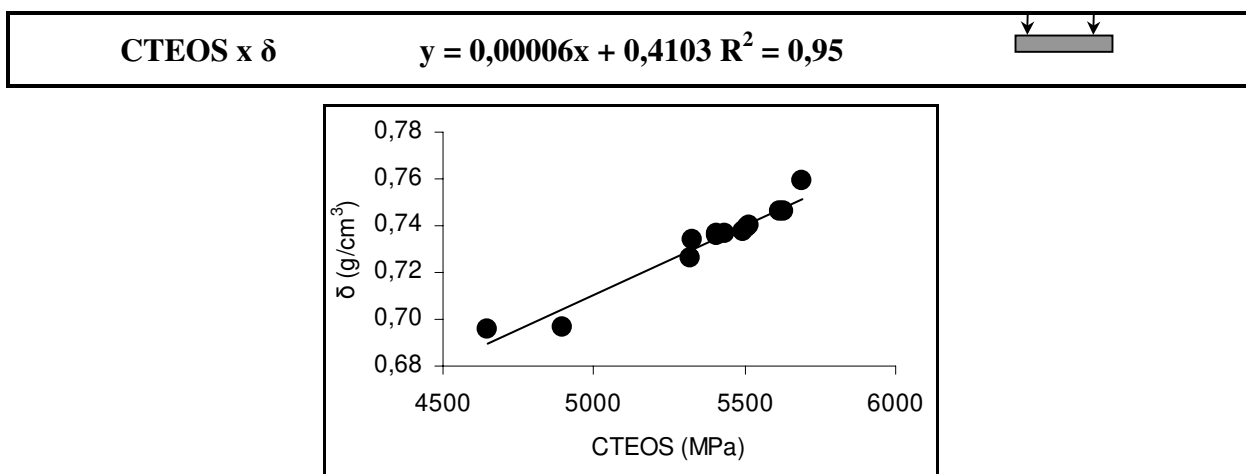


Figura 4.226 - R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE4.

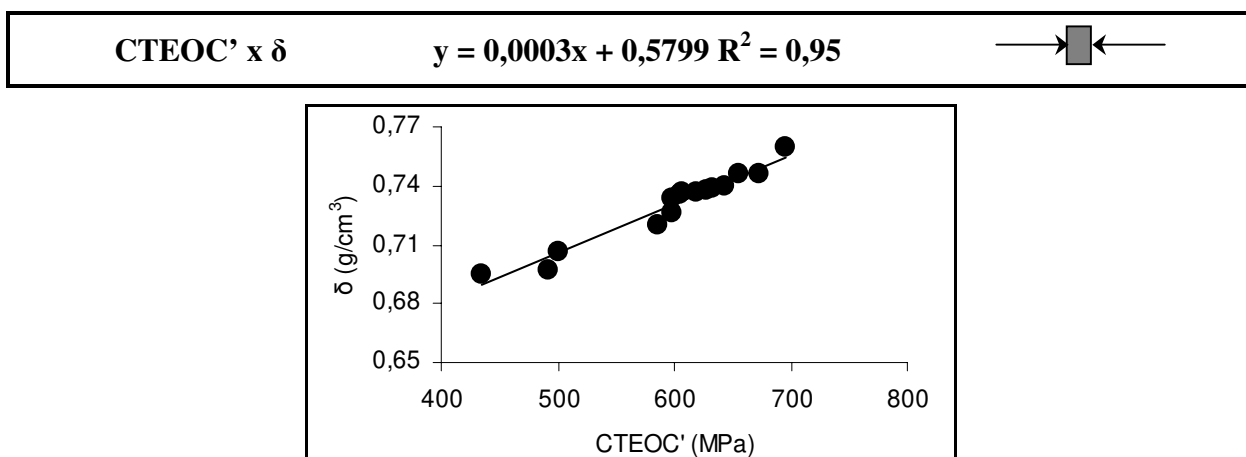


Figura 4.227 - R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE4.

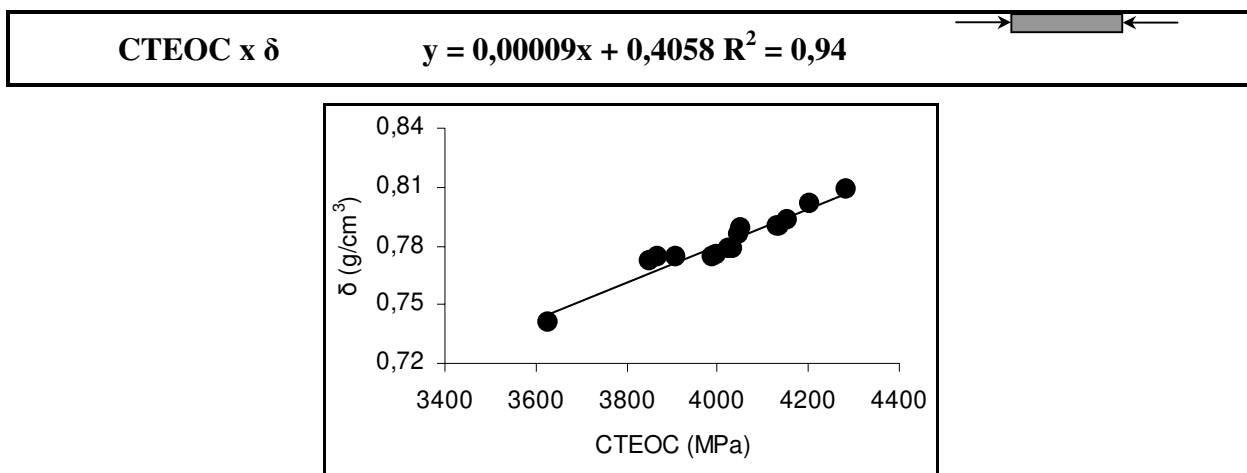


Figura 4.228 - R^2 entre CTEOC e δ das chapas da CE6.

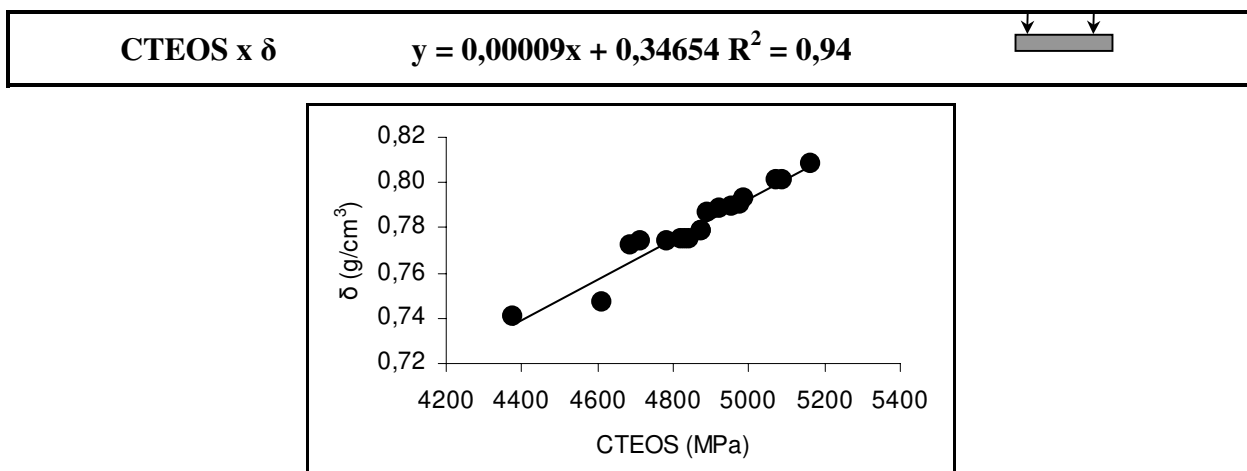


Figura 4.229 - R^2 entre CTEOS e δ das chapas da CE6.

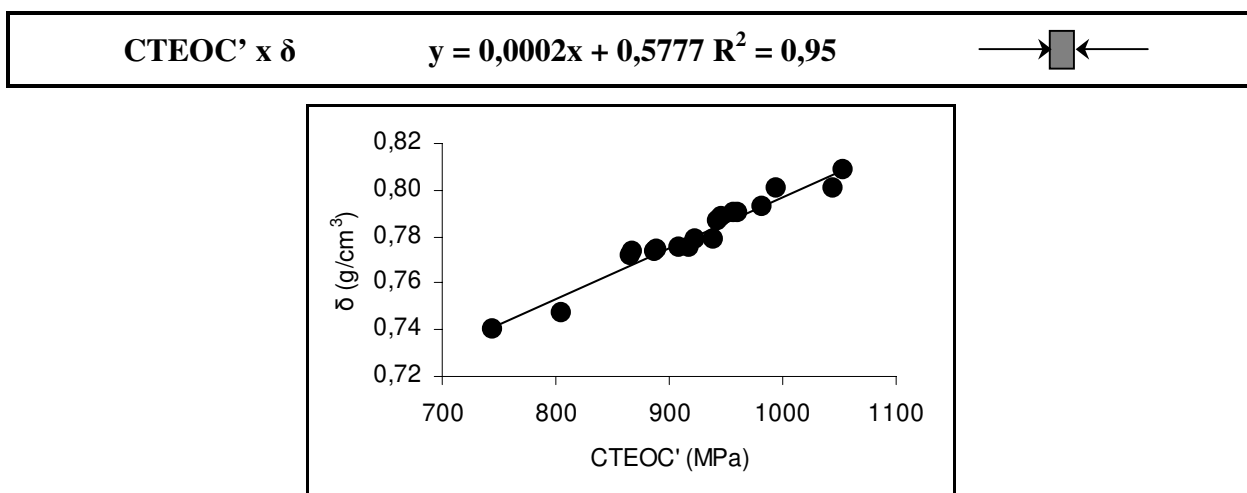


Figura 4.230 - R^2 entre CTEOC' e δ das chapas da CE6.

As Figuras 4.231 a 4.242 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas e o módulo de resistência à flexão estática das chapas das condições experimentais 1, 3, 4 e 6.

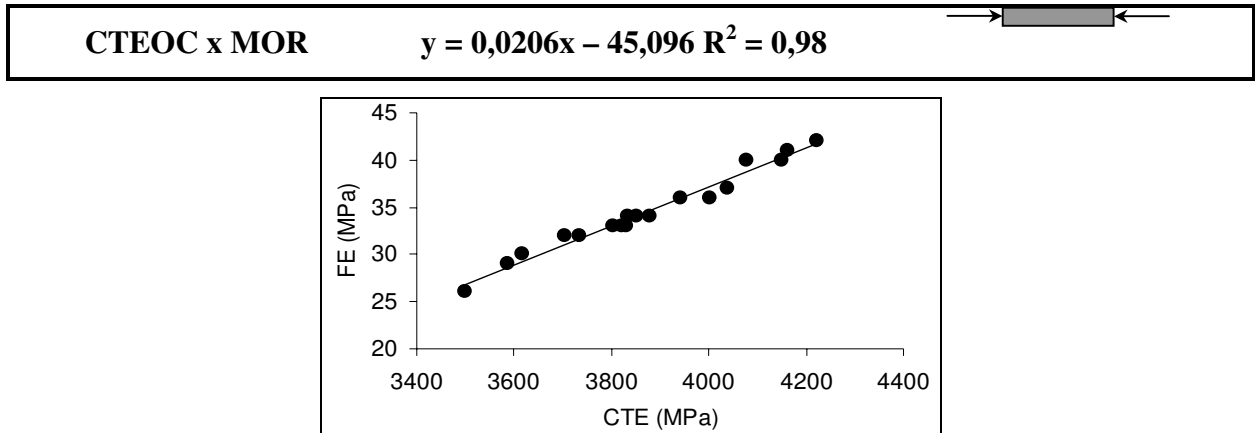


Figura 4.231 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE1

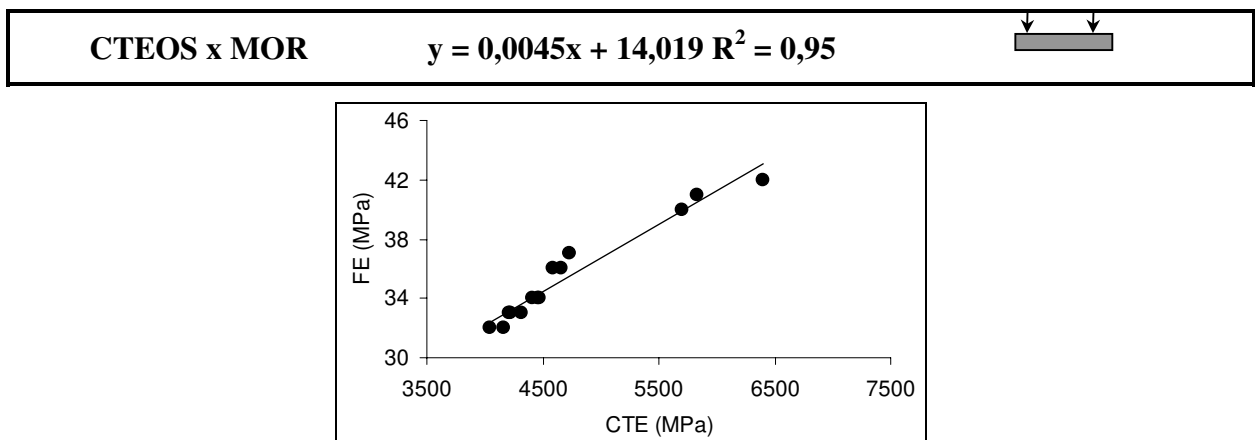


Figura 4.232 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE1.

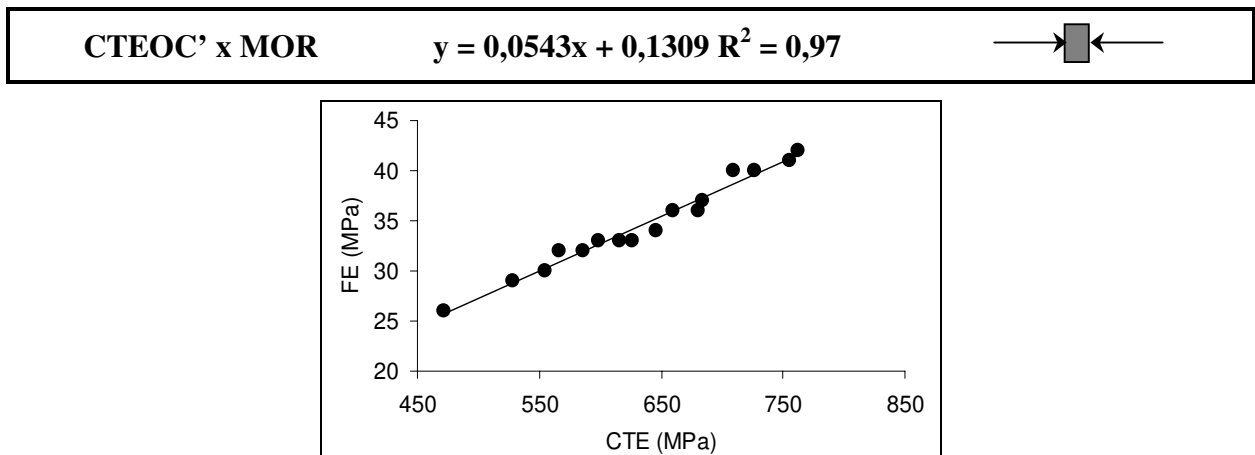


Figura 4.233 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE1

CTEOC x MOR $y = 0,0142x - 20,452$ $R^2 = 0,94$ 

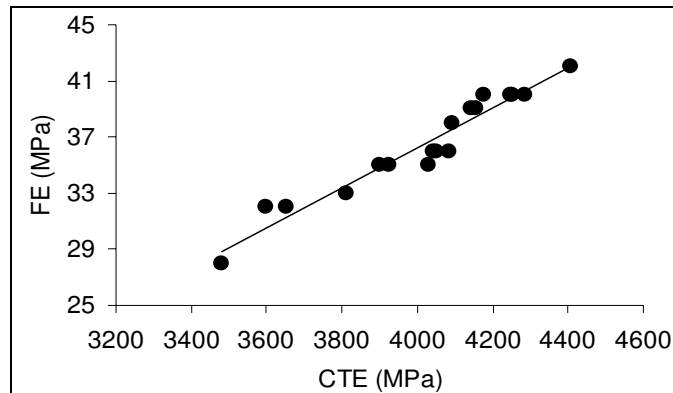


Figura 4.234 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE3.

CTEOS x MOR $y = 0,0106x - 16,236$ $R^2 = 0,98$ 

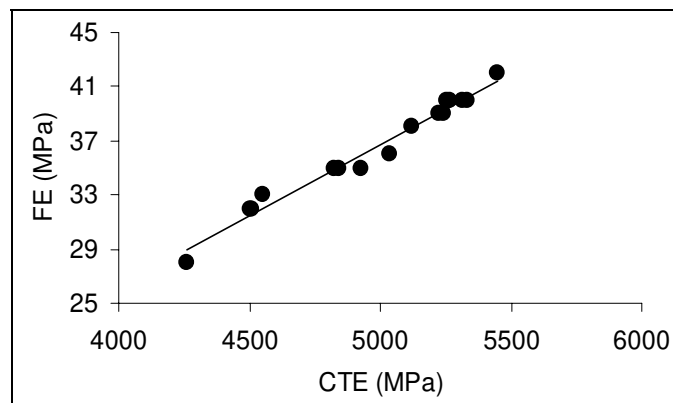


Figura 4.235 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE3.

CTEOC' x MOR $y = 0,0284x + 13,445$ $R^2 = 0,97$ 

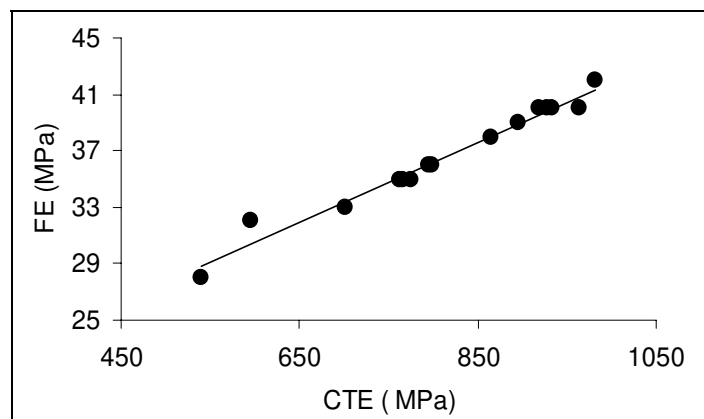


Figura 4.236 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE3

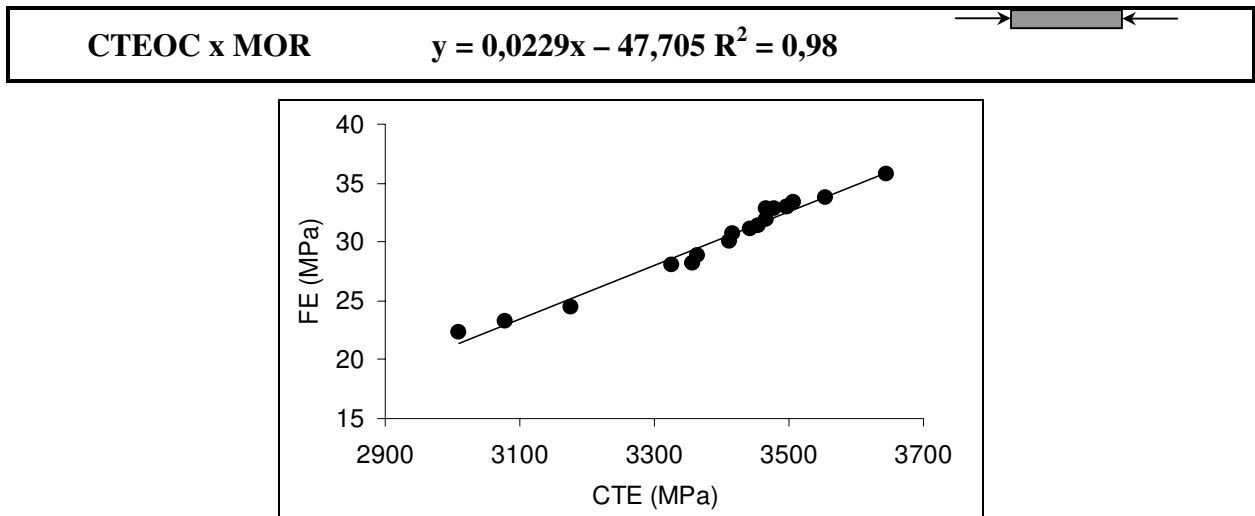


Figura 4.237 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE4.

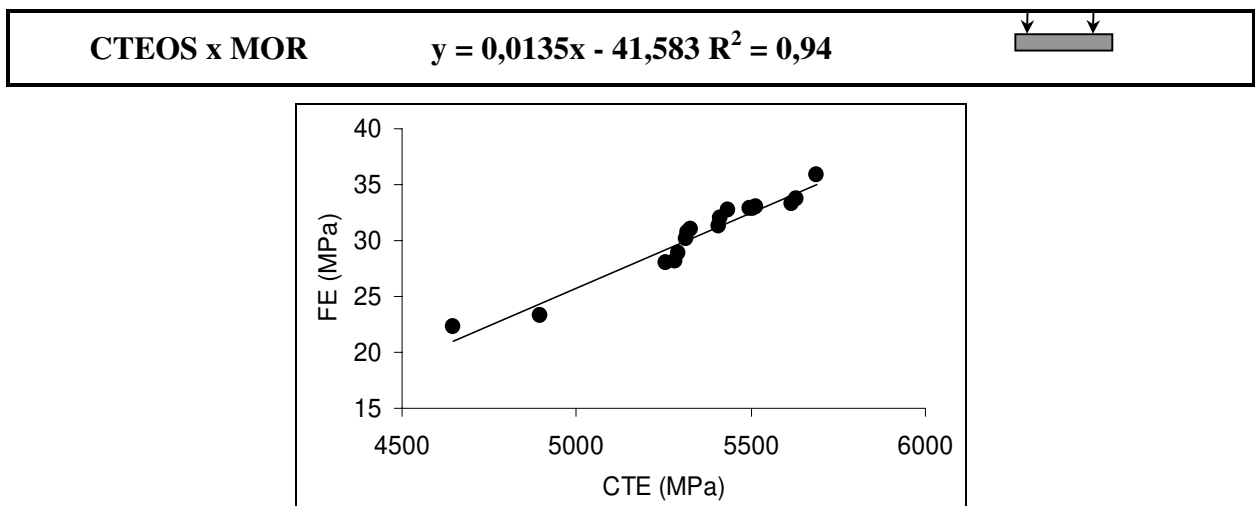


Figura 4.238 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE4.

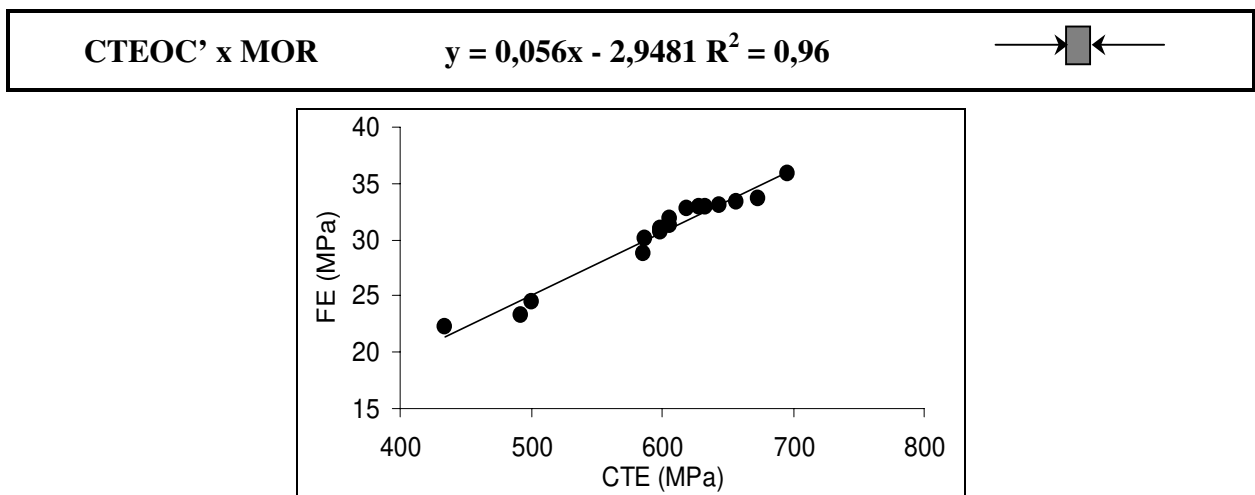


Figura 4.239 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE4

CTEOC x MOR $y = 0,0253x - 63,963 R^2 = 0,98$ 

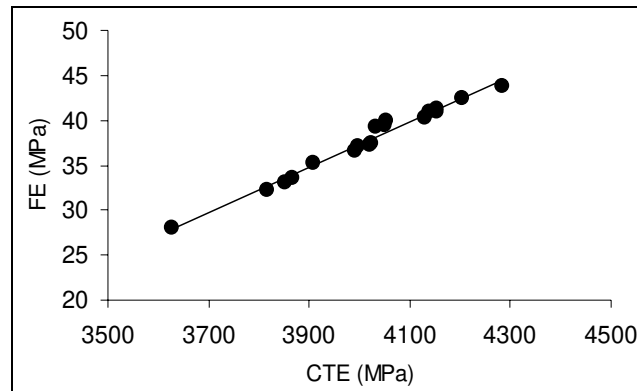


Figura 4.240 - R^2 entre CTEOC e MOR das chapas da CE6.

CTEOS x MOR $y = 0,0218x - 68,033 R^2 = 0,97$ 

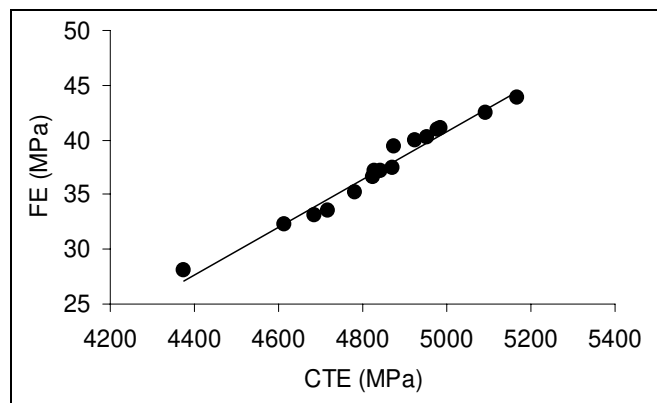


Figura 4.241 - R^2 entre CTEOS e MOR das chapas da CE6.

CTEOC' x MOR $y = 0,0499x - 8,1982 R^2 = 0,96$ 

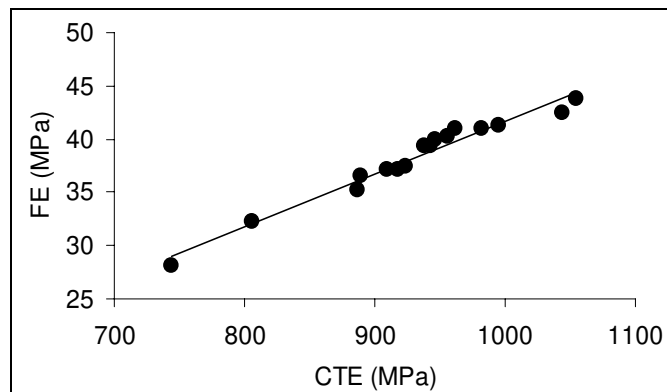


Figura 4.242 - R^2 entre CTEOC' e MOR das chapas da CE6

As figuras 4.243 a 4.257 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas e o módulo de elasticidade das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.

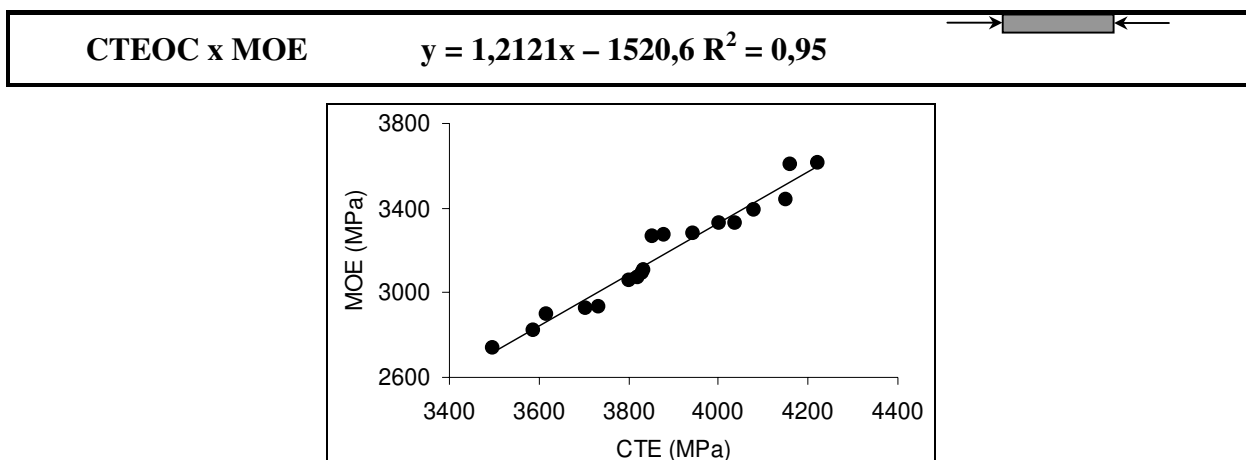


Figura 4.243 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE1.

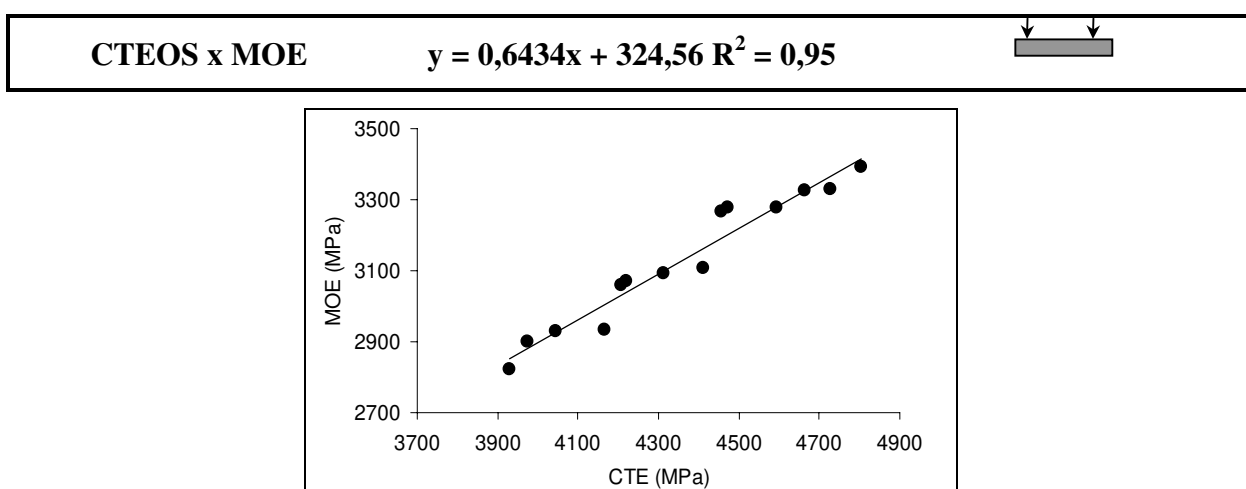


Figura 4.244 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE1.

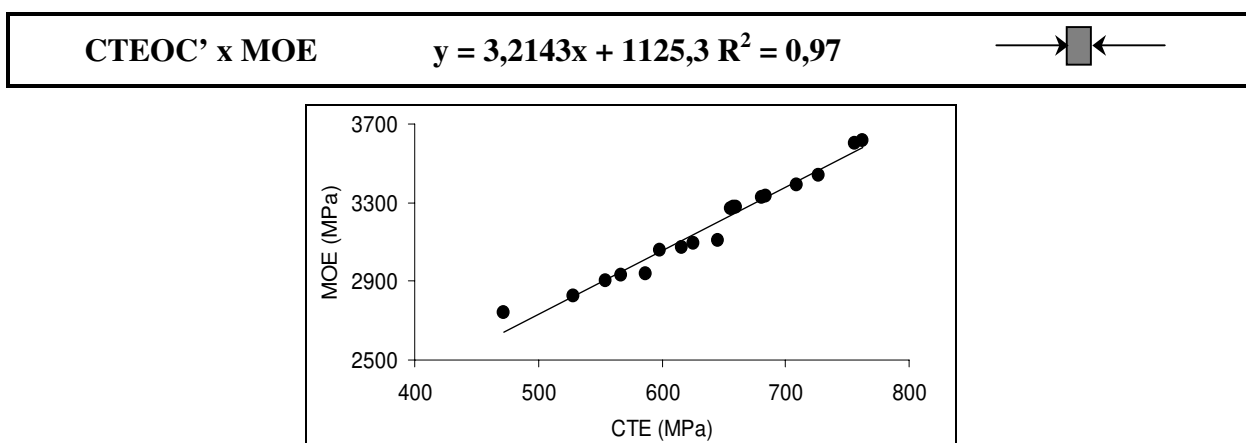


Figura 4.245 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE1.

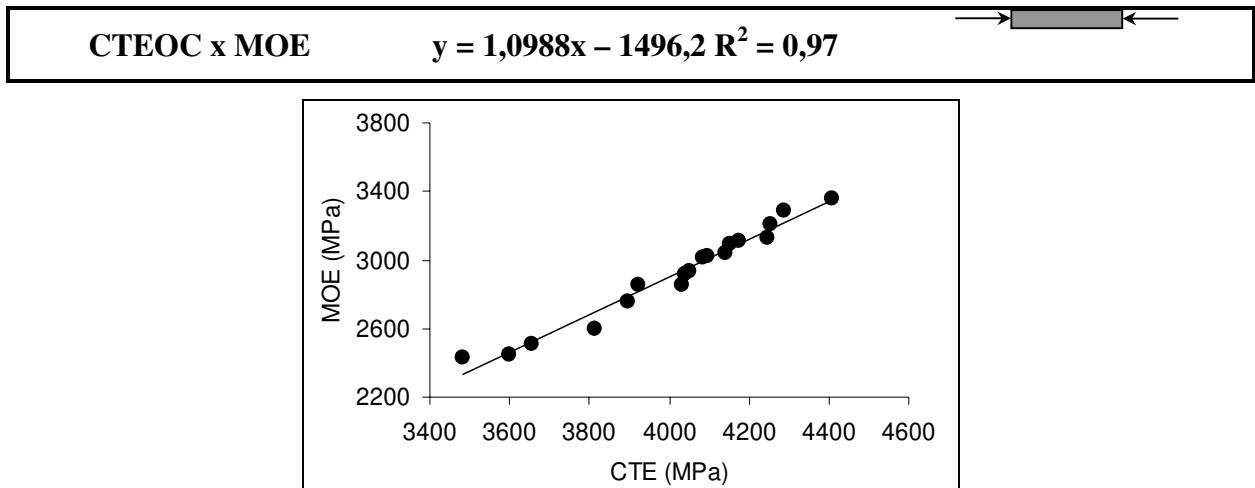


Figura 4.246 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE3.

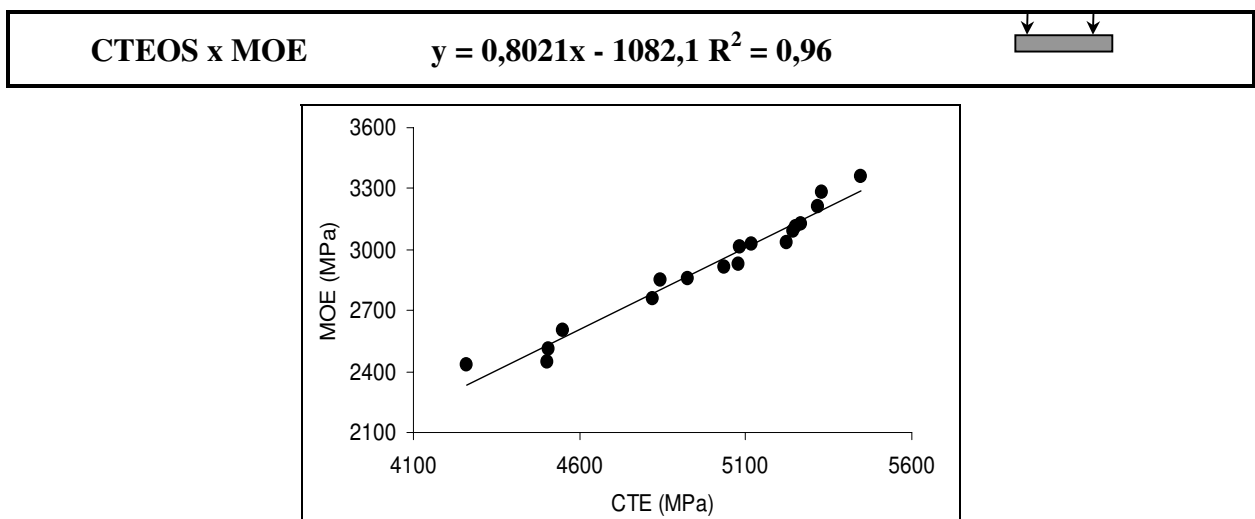


Figura 4.247 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE3.

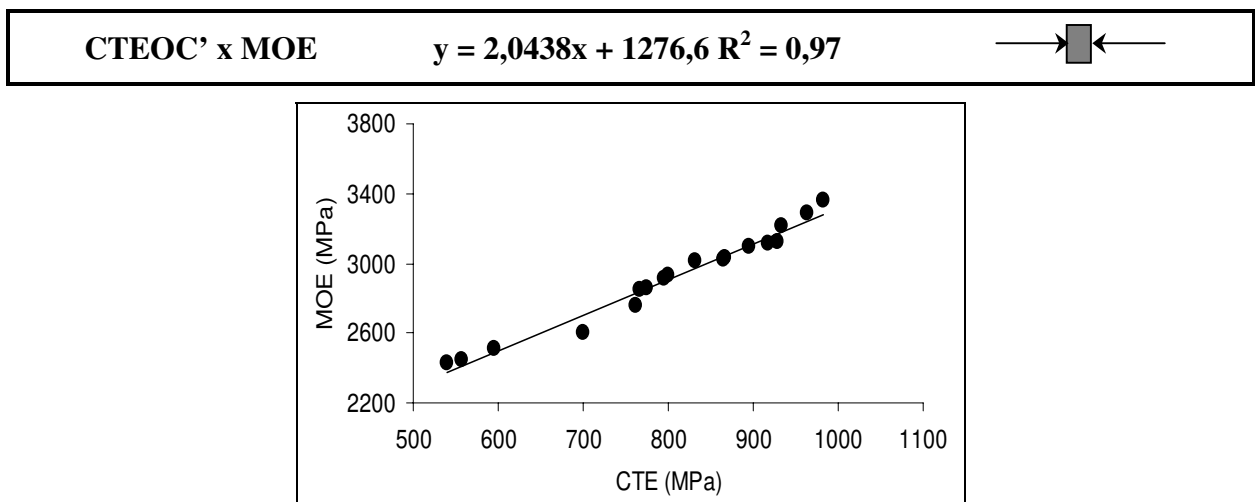


Figura 4.248 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE3.

CTEOC x MOE $y = 1,7141x - 2621,4$ $R^2 = 0,97$ 

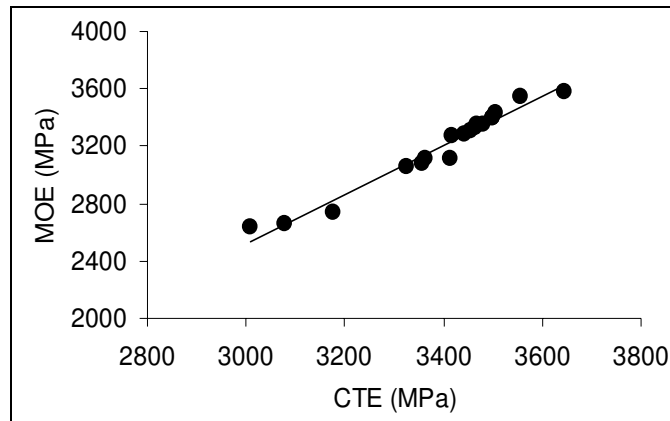


Figura 4.249 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE4.

CTEOS x MOE $y = 0,9985x - 2117,8$ $R^2 = 0,94$ 

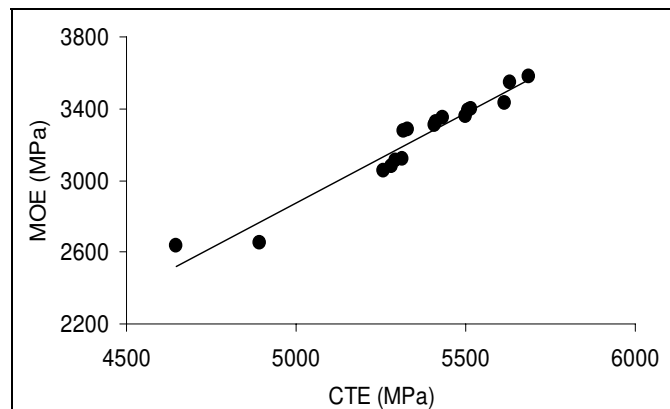


Figura 4.250 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE4.

CTEOC' x MOE $y = 4,25x + 669,49$ $R^2 = 0,95$ 

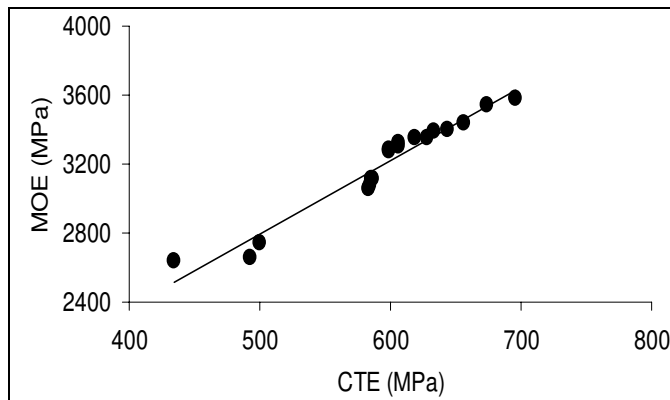


Figura 4.251 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE4.

CTEOC x MOE $y = 1,7828x - 3728,4$ $R^2 = 0,95$ 

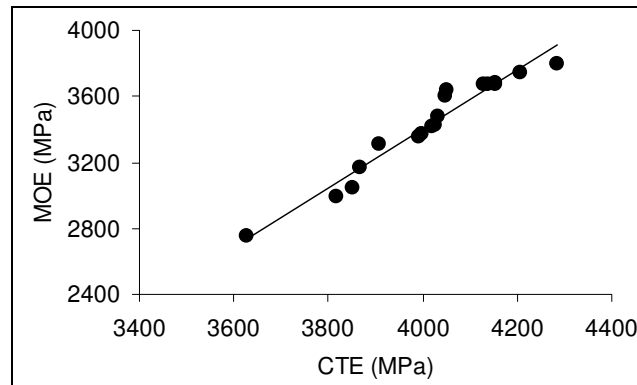


Figura 4.252 - R^2 entre CTEOC e MOE das chapas da CE6.

CTEOS x MOE $y = 1,5079x - 3895,8$ $R^2 = 0,94$ 

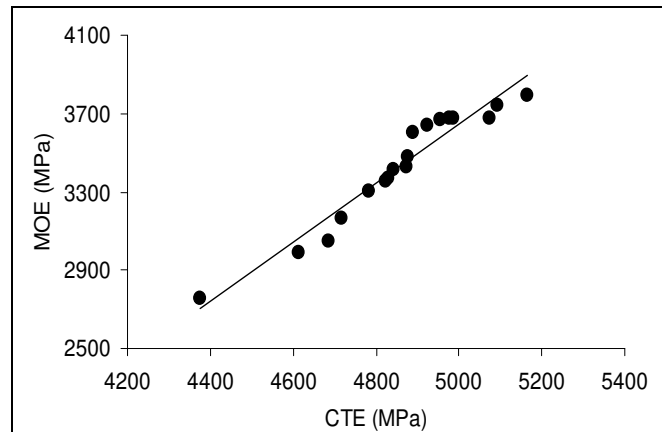


Figura 4.253 - R^2 entre CTEOS e MOE das chapas da CE6.

CTEOC' x MOE $y = 3,5309x + 181,15$ $R^2 = 0,93$ 

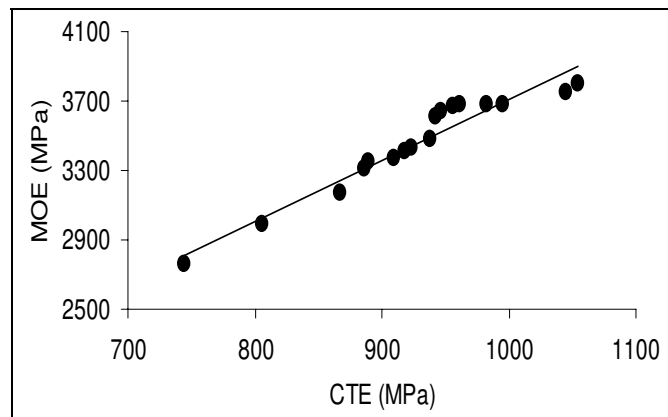


Figura 4.254 - R^2 entre CTEOC' e MOE das chapas da CE6

As figuras 4.255 a 4.266 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas e o módulo de resistência à tração perpendicular das chapas das condições 1, 3, 4 e 6.

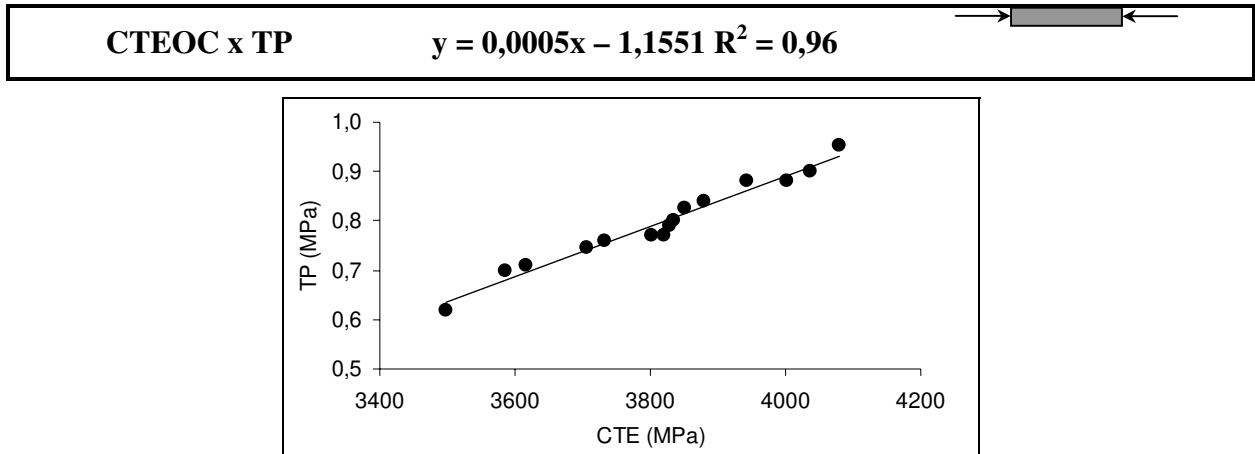


Figura 4.255 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE1.

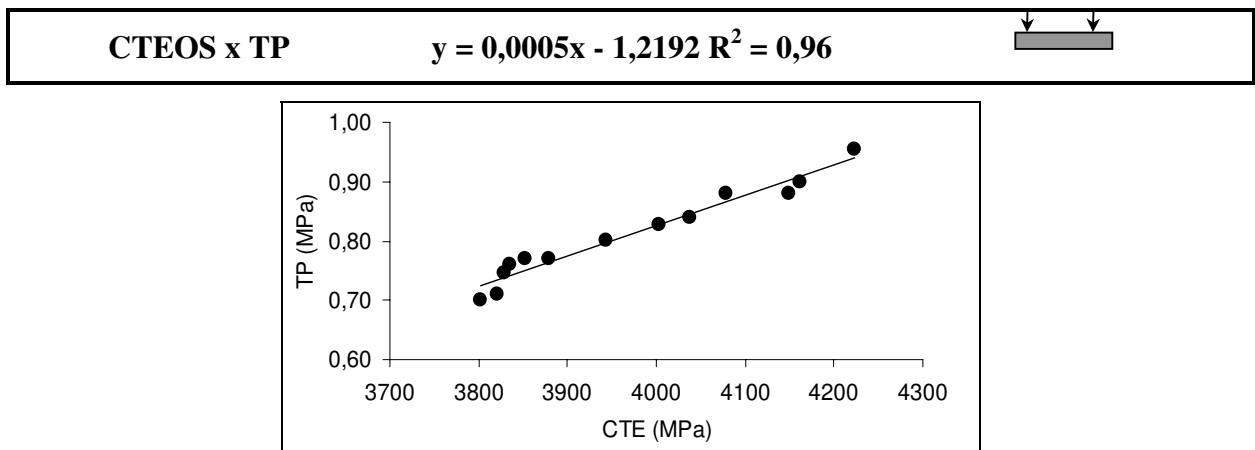


Figura 4.256 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE1.

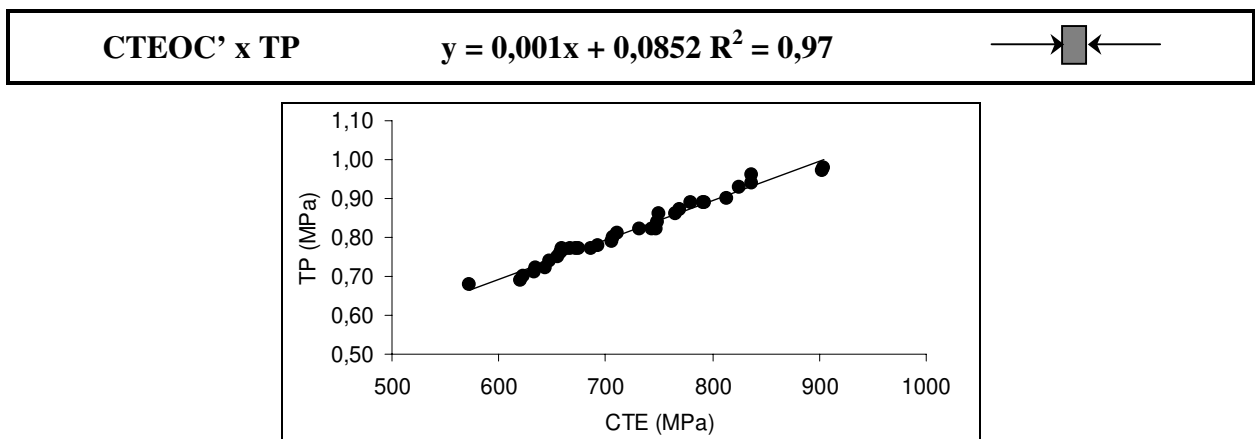


Figura 4.257 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE1.

CTEOC x TP

$$y = 0,0007x - 1,587 \quad R^2 = 0,96$$

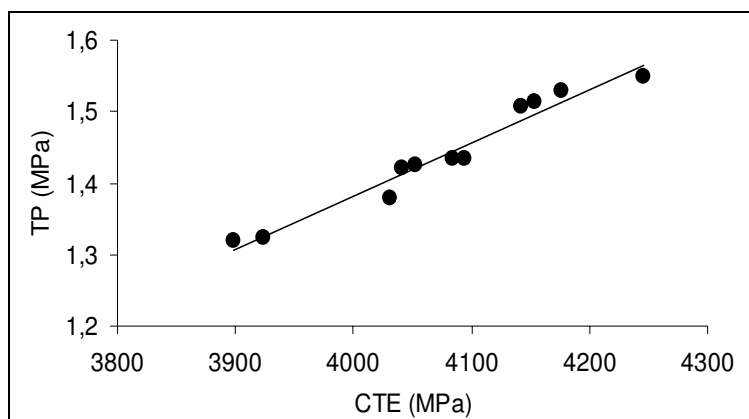


Figura 4.258 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE3.

CTEOS x TP

$$y = 0,0007x - 1,5078 \quad R^2 = 0,93$$

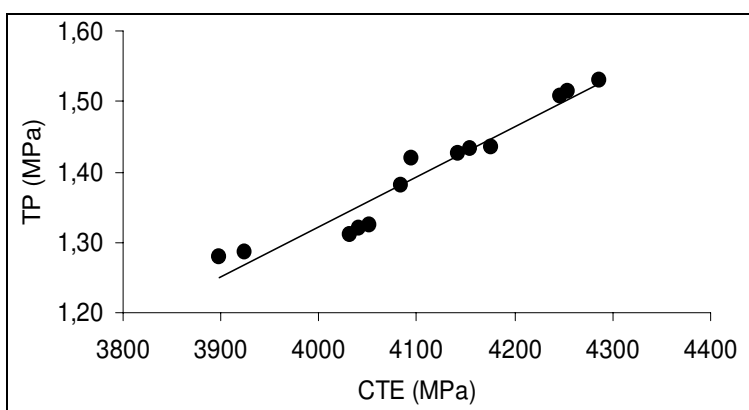


Figura 4.259 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE3.

CTEOC' x TP

$$y = 0,0009x + 0,5723 \quad R^2 = 0,97$$

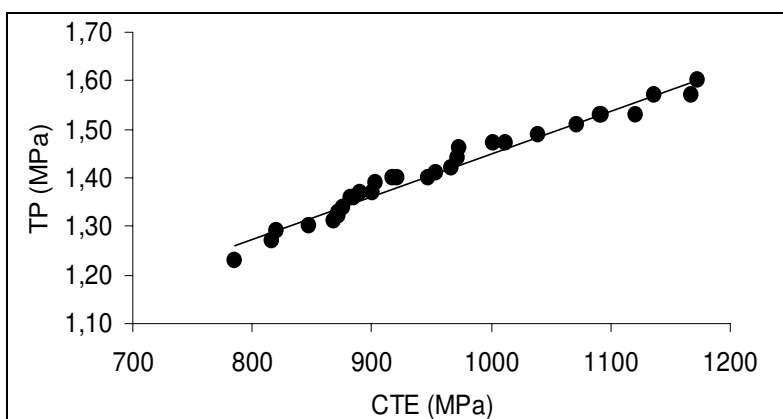


Figura 4.260 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE3.

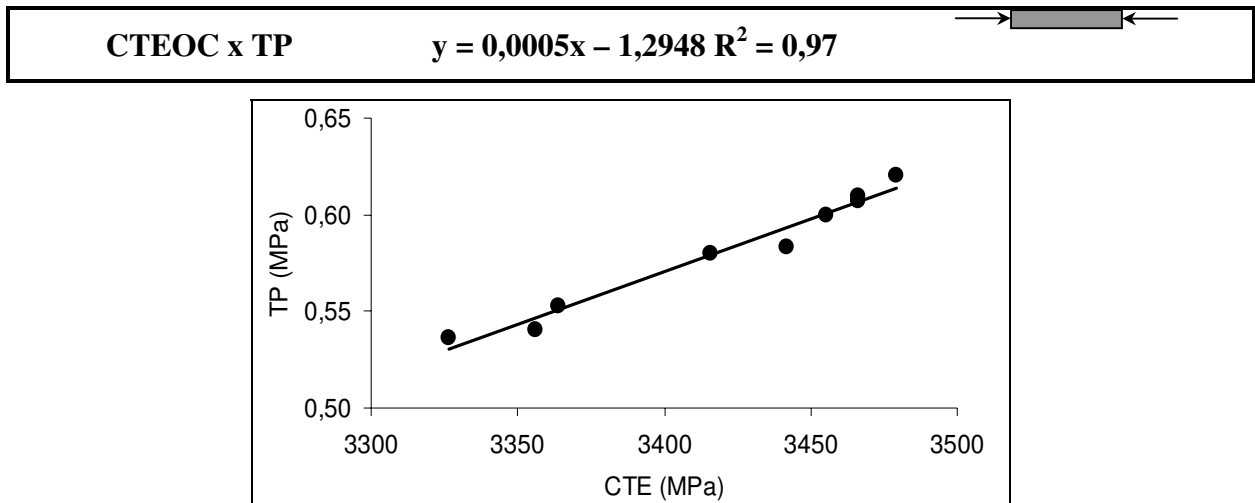


Figura 4.261 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE4.

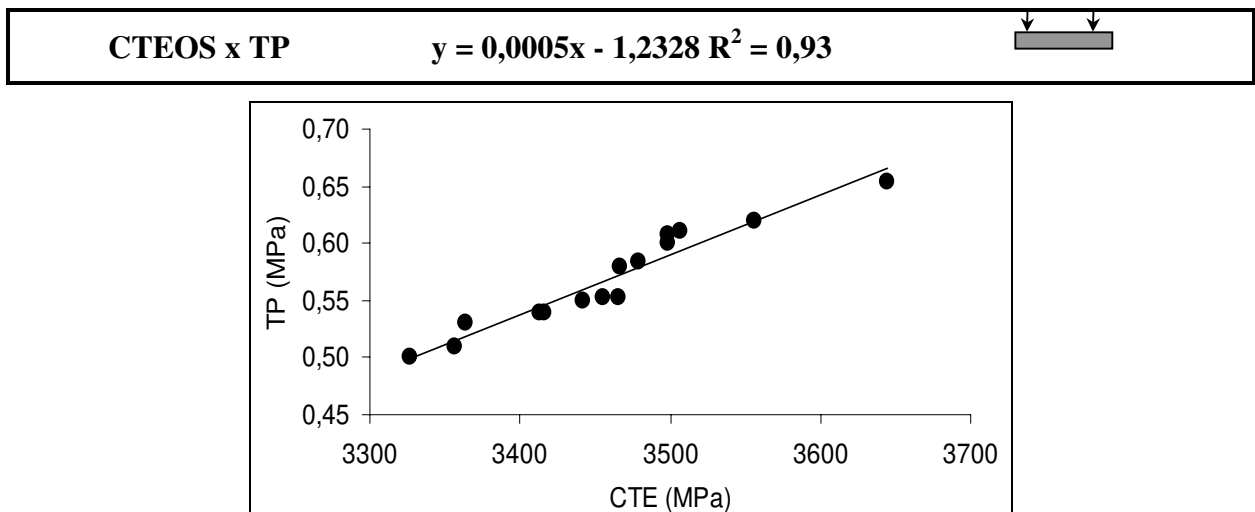


Figura 4.262 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE4.

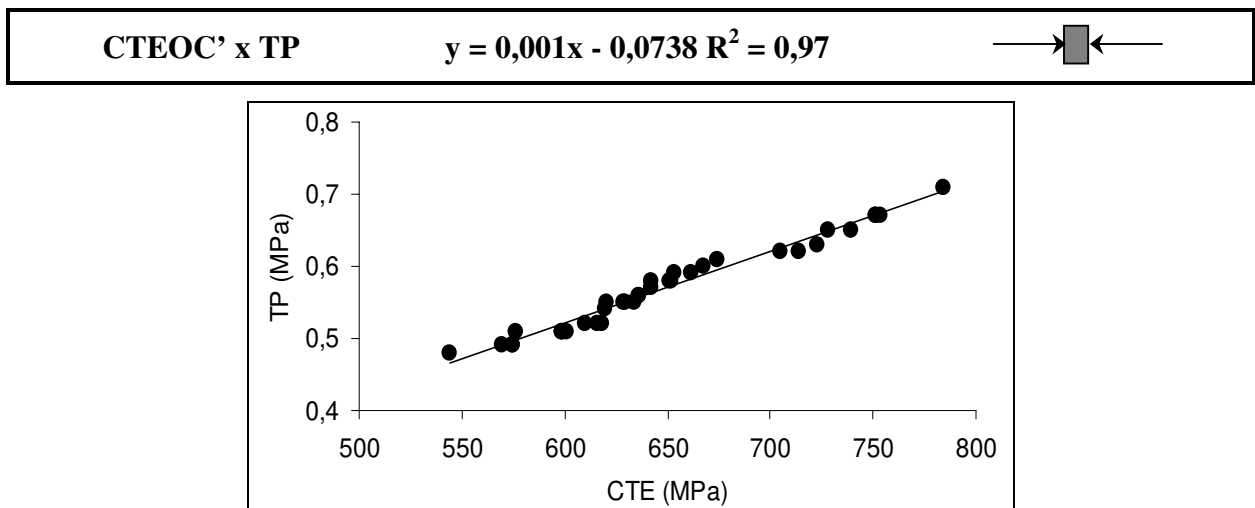


Figura 4.263 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE4.

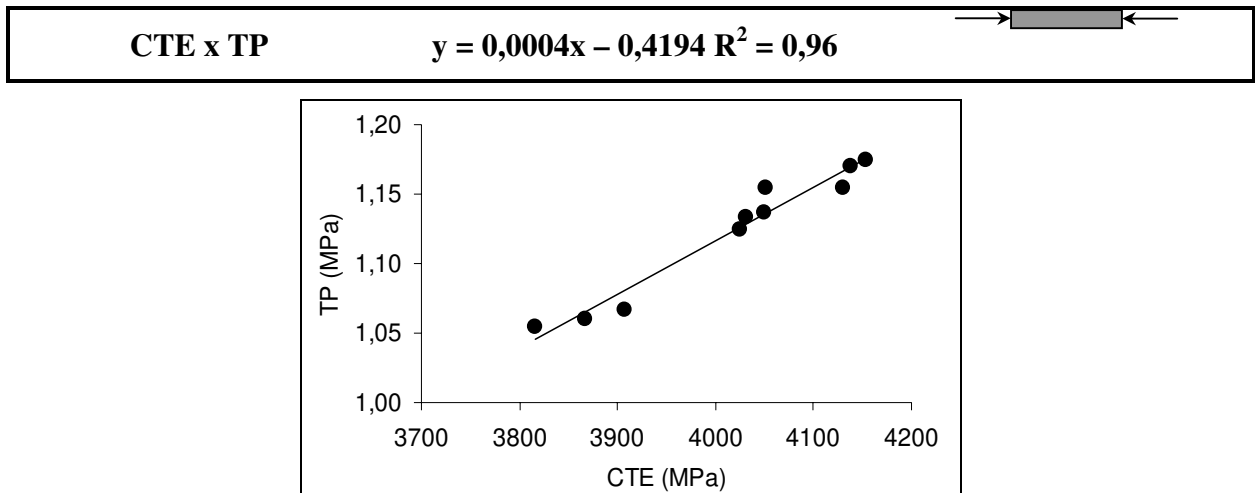


Figura 4.264 - R^2 entre CTEOC e TP das chapas da CE6.

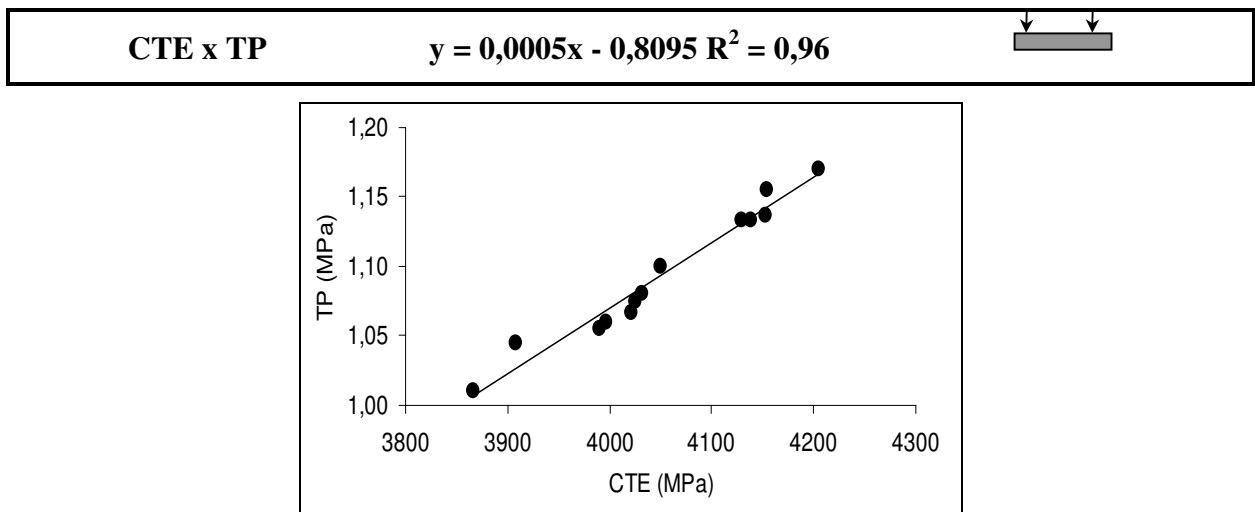


Figura 4.265 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE6.

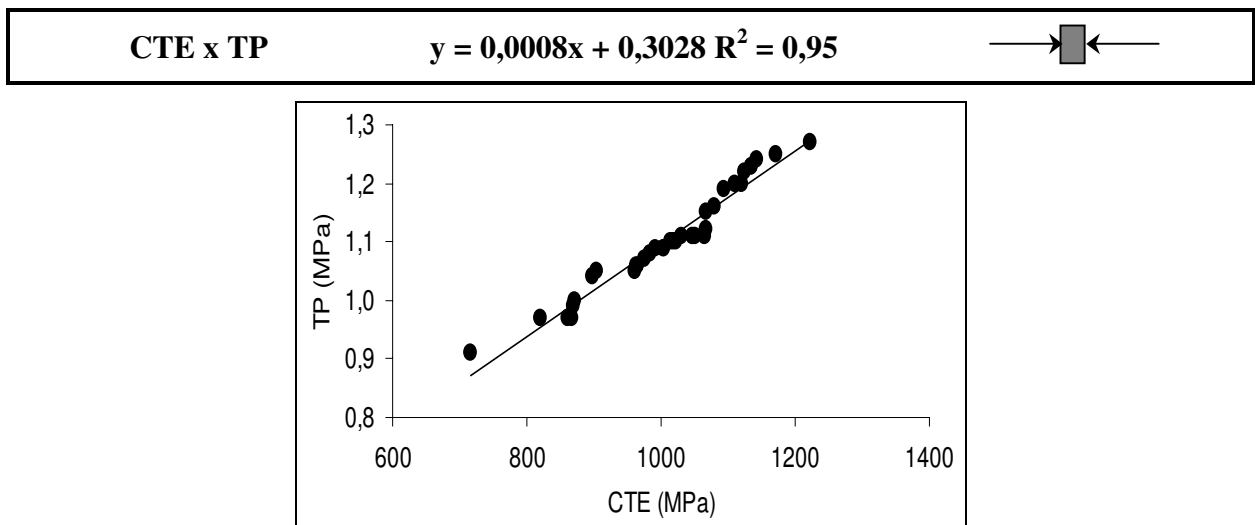


Figura 4.266 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE6.

As figuras 4.267 a 4.278 apresentam os gráficos com os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas e o módulo de resistência à tração superficial das chapas das condições experimentais 1, 3, 4 e 6.

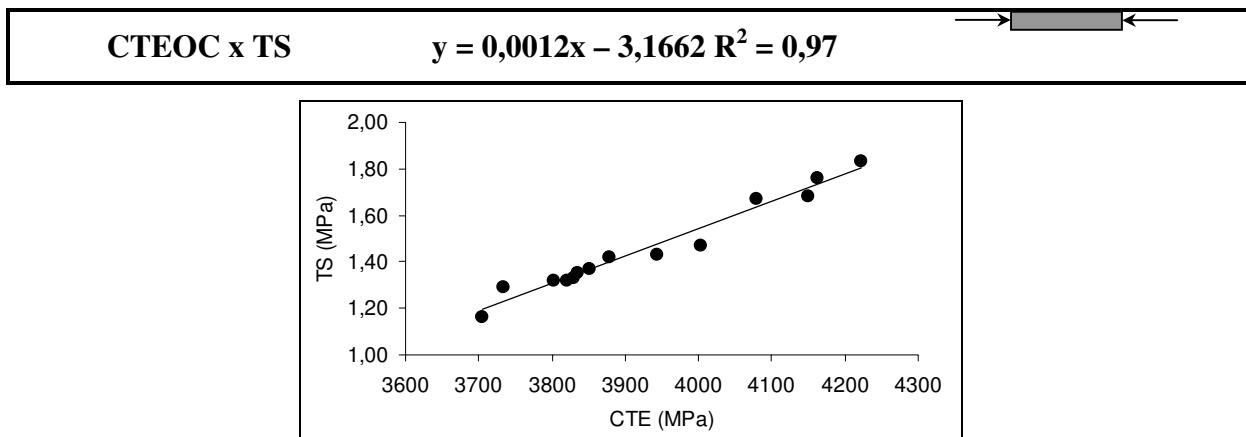


Figura 4.267 - R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE1.

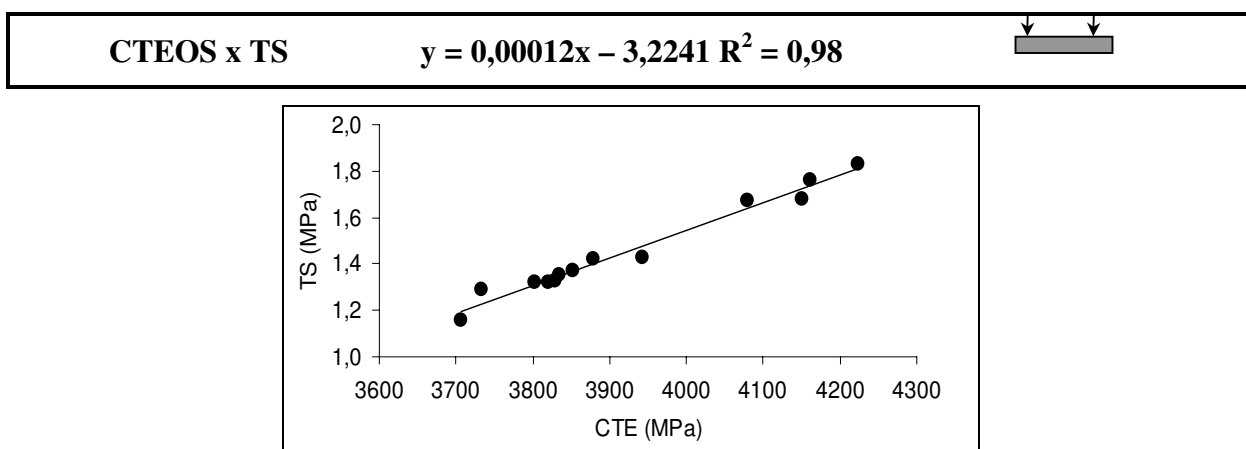


Figura 4.268 - R^2 entre CTEOS e TP das chapas da CE1.

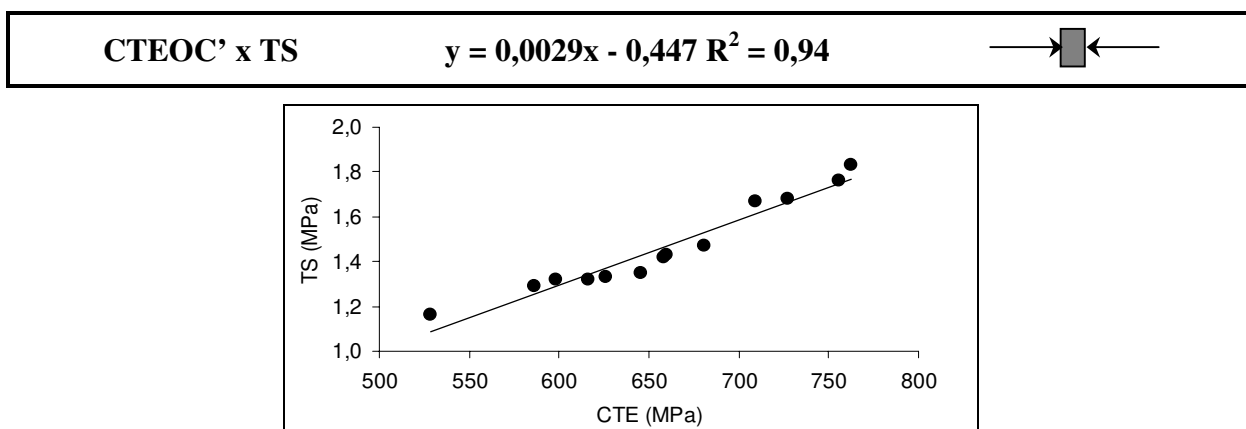


Figura 4.269 - R^2 entre CTEOC' e TP das chapas da CE1.

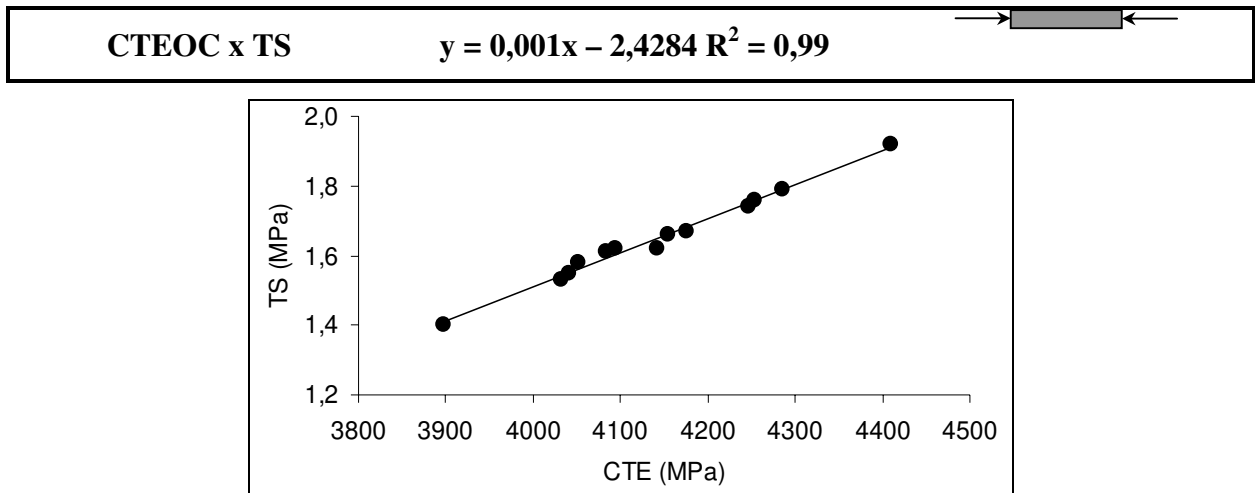


Figura 4.270 - R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE3.

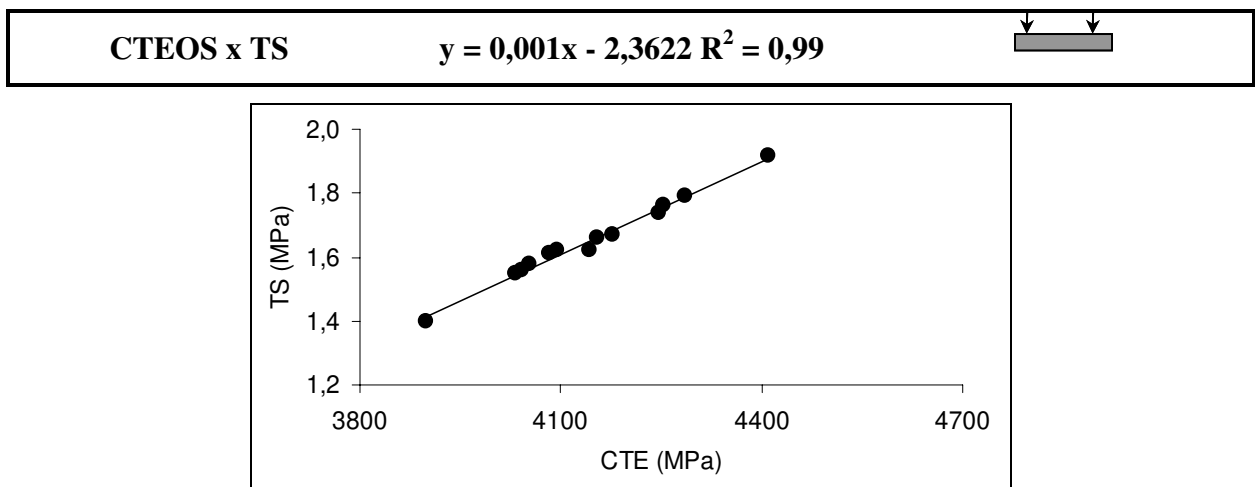


Figura 4.271 - R^2 entre CTEOS e TS das chapas da CE3.

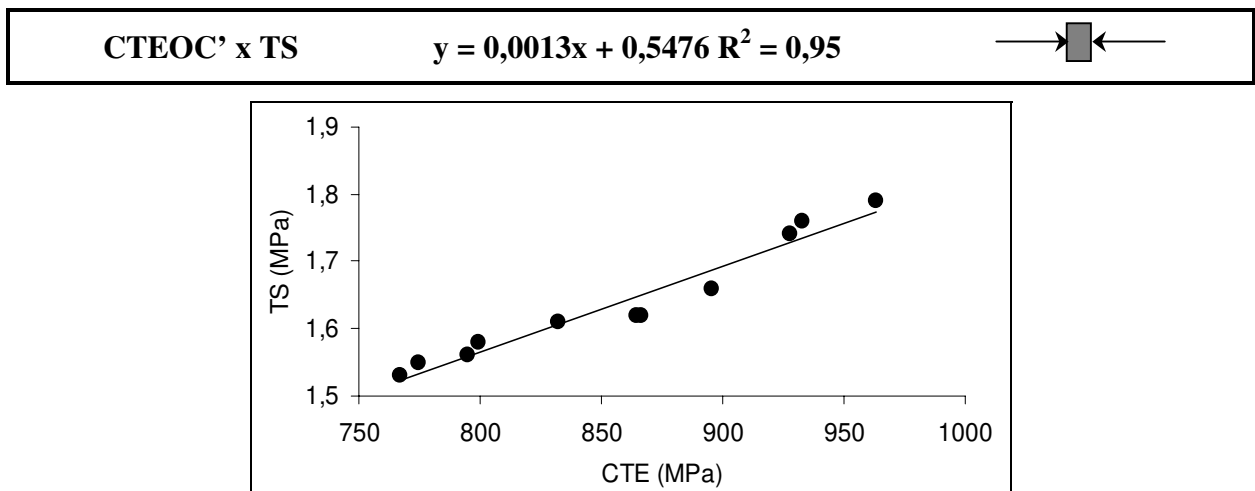


Figura 4.272 - R^2 entre CTEOC' e TS das chapas da CE3.

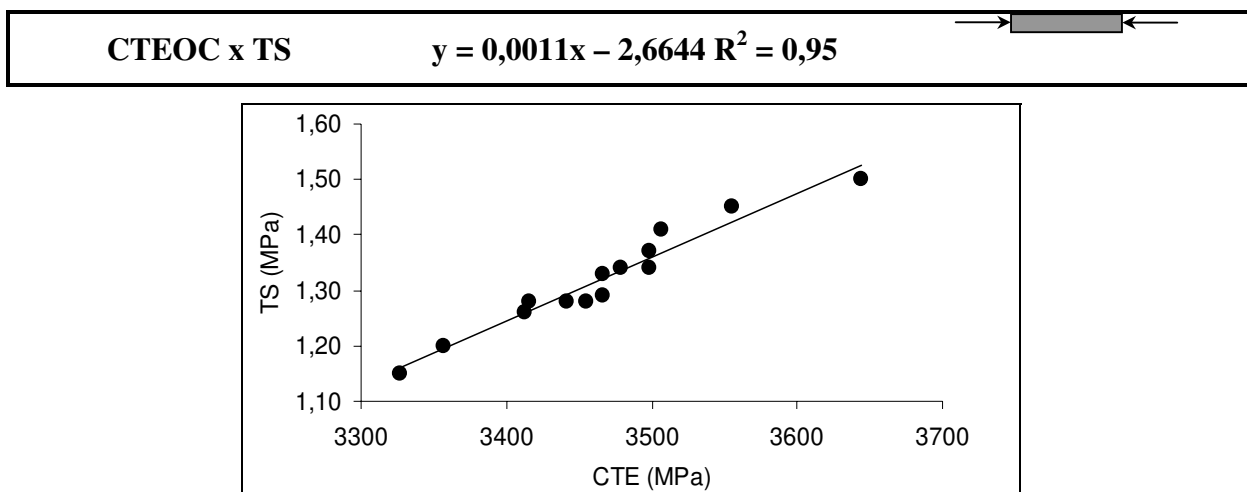


Figura 4.273 - R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE4.

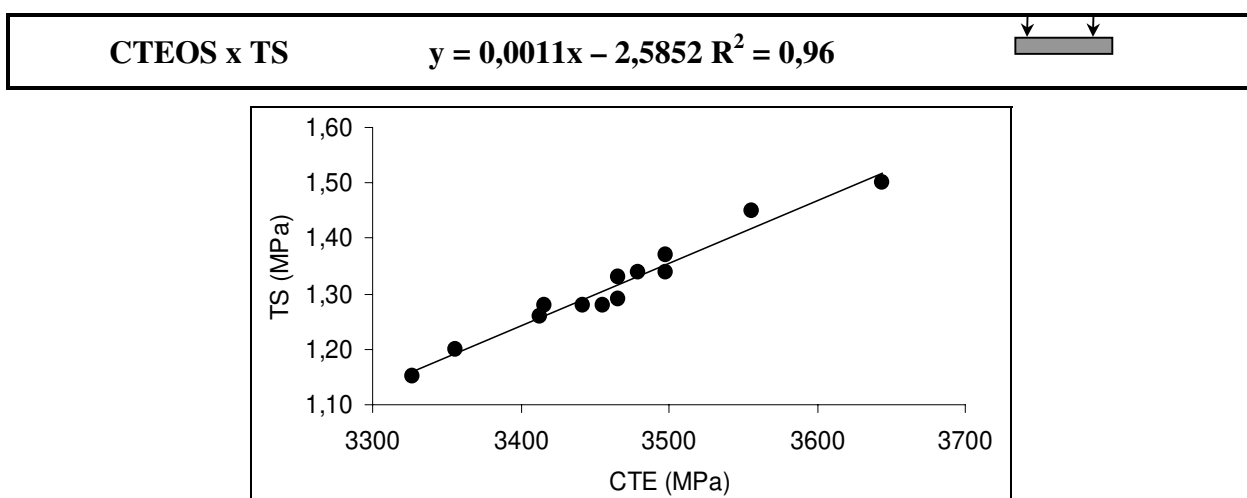


Figura 4.274 - R^2 entre CTEOS e TS das chapas da CE4.

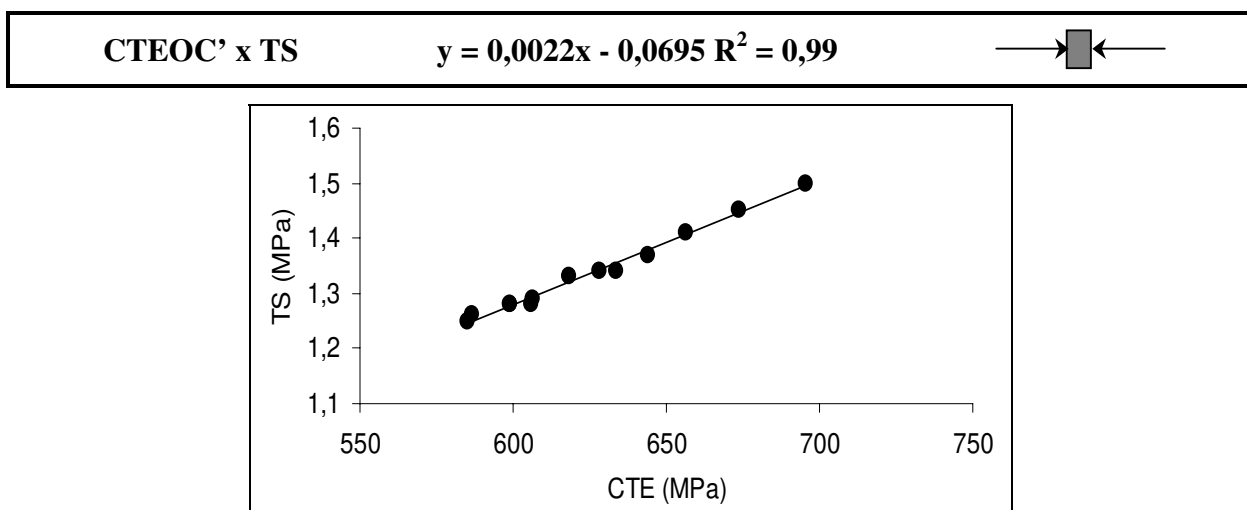


Figura 4.275 - R^2 entre CTEOC' e TS das chapas da CE4.

CTEOC x TS

$$y = 0,0018x - 5,5038 \quad R^2 = 0,94$$

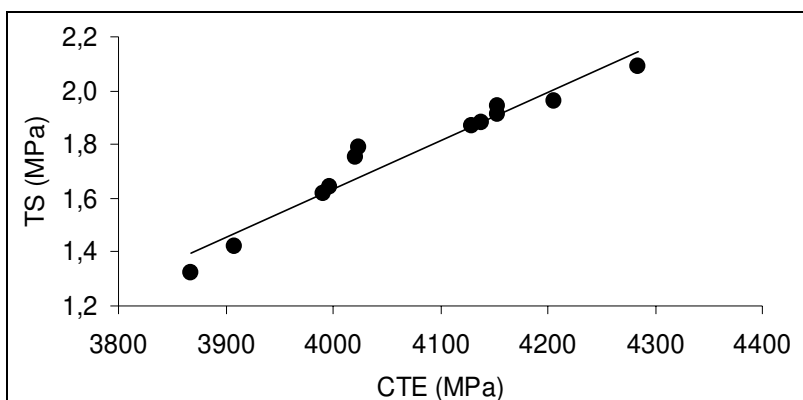


Figura 4.276 - R^2 entre CTEOC e TS das chapas da CE6.

CTEOS x TS

$$y = 0,0018x - 5,6535 \quad R^2 = 0,97$$

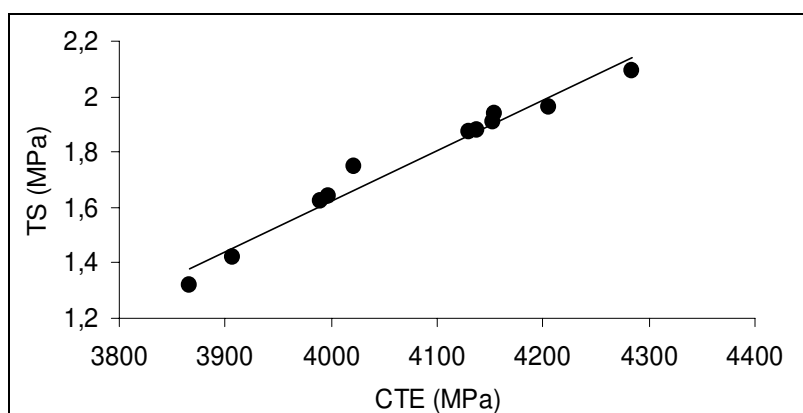


Figura 4.277 - R^2 entre CTEOS e TS das chapas da CE6.

CTEOC' x TS

$$y = 0,003x - 1,0627 \quad R^2 = 0,95$$

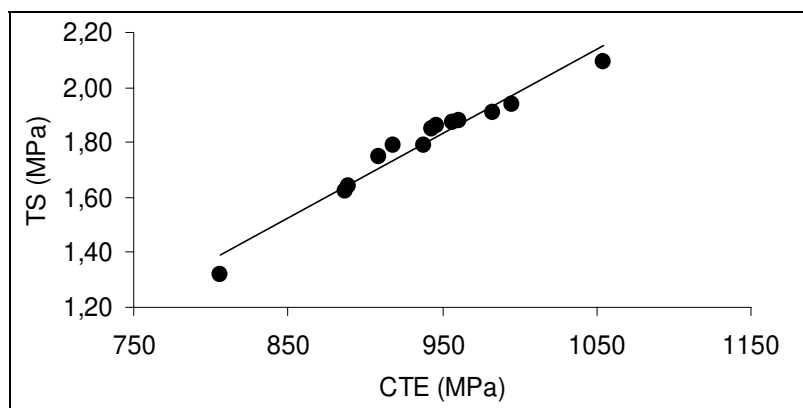
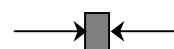


Figura 4.278 - R^2 entre CTEOC' e TS das chapas da CE6.

A tabela 4.11 apresenta-se os coeficientes de determinação entre as constantes dinâmicas (CTE) e as propriedades das chapas de fibra das CE 1, 3, 4 e 6.

Tabela 4.11 - Coeficientes de determinação (R^2) entre CTE e as propriedades das chapas.

		Coeficiente de determinação (R^2)		
				
CE1	CTE x δ	0,97	0,93	0,98
	CTE x MOR	0,98	0,95	0,97
	CTE x MOE	0,95	0,95	0,97
	CTE x TP	0,96	0,96	0,97
	CTE x TS	0,97	0,98	0,94
CE3	CTE x δ	0,98	0,98	0,98
	CTE x MOR	0,94	0,98	0,97
	CTE x MOE	0,97	0,96	0,97
	CTE x TP	0,96	0,93	0,97
	CTE x TS	0,99	0,99	0,95
CE4	CTE x δ	0,98	0,95	0,95
	CTE x MOR	0,98	0,94	0,96
	CTE x MOE	0,97	0,94	0,95
	CTE x TP	0,97	0,93	0,97
	CTE x TS	0,95	0,96	0,99
CE6	CTE x δ	0,94	0,94	0,95
	CTE x MOR	0,98	0,97	0,96
	CTE x MOE	0,95	0,94	0,93
	CTE x TP	0,96	0,96	0,95
	CTE x TS	0,94	0,97	0,97

Na tabela 4.11 observa-se que todos os coeficientes de determinação obtidos são iguais ou superiores a 93 %. Esses valores indicam a possibilidade de utilização das constantes dinâmicas para inferir sobre as propriedades das chapas.

4.8 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FASE III

4.8.1 - MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

A tabela 4.12 apresenta o modelo para análise estatística do módulo de resistência à flexão estática (**MOR**) das chapas de *Pinus caribaea* com 15 e 8 mm de espessura (**E**).

Tabela 4.12 - Modelo para análise estatística do **MOR** das chapas de *Pinus caribaea*.

Pinus		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	BL	T	MOR	R	VE	EN
CE 1	Chapa 1	15	6	3,25	32,25	10,09	1	1	32,95	0,705	32,245	-0,035
							1	1	35,93	3,685	32,245	1,458
							1	1	34,22	1,975	32,245	0,390
							1	1	32,18	-0,065	32,245	-0,244
							1	1	31,84	-0,405	32,245	-0,390
							1	1	26,35	-5,895	32,245	-1,458
	Chapa 2	15	6	4,75	37,40	12,71	1	2	29,89	-7,600	37,400	-1,697
							1	2	39,17	1,770	37,400	0,316
							1	2	40,17	2,770	37,400	0,626
							1	2	42,03	4,630	37,400	1,697
							1	2	39,96	2,560	37,400	0,466
							1	2	33,18	-4,220	37,400	-1,138
	Chapa 3	15	6	2,80	33,59	8,35	1	3	29,42	-4,175	33,595	-1,015
							1	3	33,42	-0,175	33,595	-0,316
							1	3	36,33	2,735	33,595	0,544
							1	3	36,78	3,185	33,595	1,282
							1	3	34,03	0,435	33,595	-0,104
							1	3	31,59	-2,005	33,595	-0,626
CE 3	Chapa 4	8	6	2,29	34,93	6,57	2	4	32,68	-2,248	34,928	-0,713
							2	4	37,73	2,802	34,928	0,805
							2	4	35,96	1,032	34,928	0,035
							2	4	36,32	1,392	34,928	0,244
							2	4	35,17	0,242	34,928	-0,174
							2	4	31,71	-3,218	34,928	-0,905
	Chapa 5	8	6	4,86	36,66	13,25	2	5	35,91	-0,745	36,655	-0,466
							2	5	41,59	4,935	36,655	2,114
							2	5	39,54	2,885	36,655	0,905
							2	5	39,73	3,075	36,655	1,138
							2	5	35,02	-1,635	36,655	-0,544
							2	5	28,14	-8,515	36,655	-2,114
	Chapa 6	8	6	3,39	37,41	9,05	2	6	34,81	-2,603	37,413	-0,805
							2	6	38,68	1,267	37,413	0,174
							2	6	40,31	2,897	37,413	1,015
							2	6	40,19	2,777	37,413	0,713
							2	6	38,67	1,257	37,413	0,104
							2	6	31,82	-5,593	37,413	-1,282

A figura 4.279 apresenta o gráfico dos resíduos (**R**) contra valores estimados (**VE**) objetivando-se verificar o comportamento da distribuição da variância.

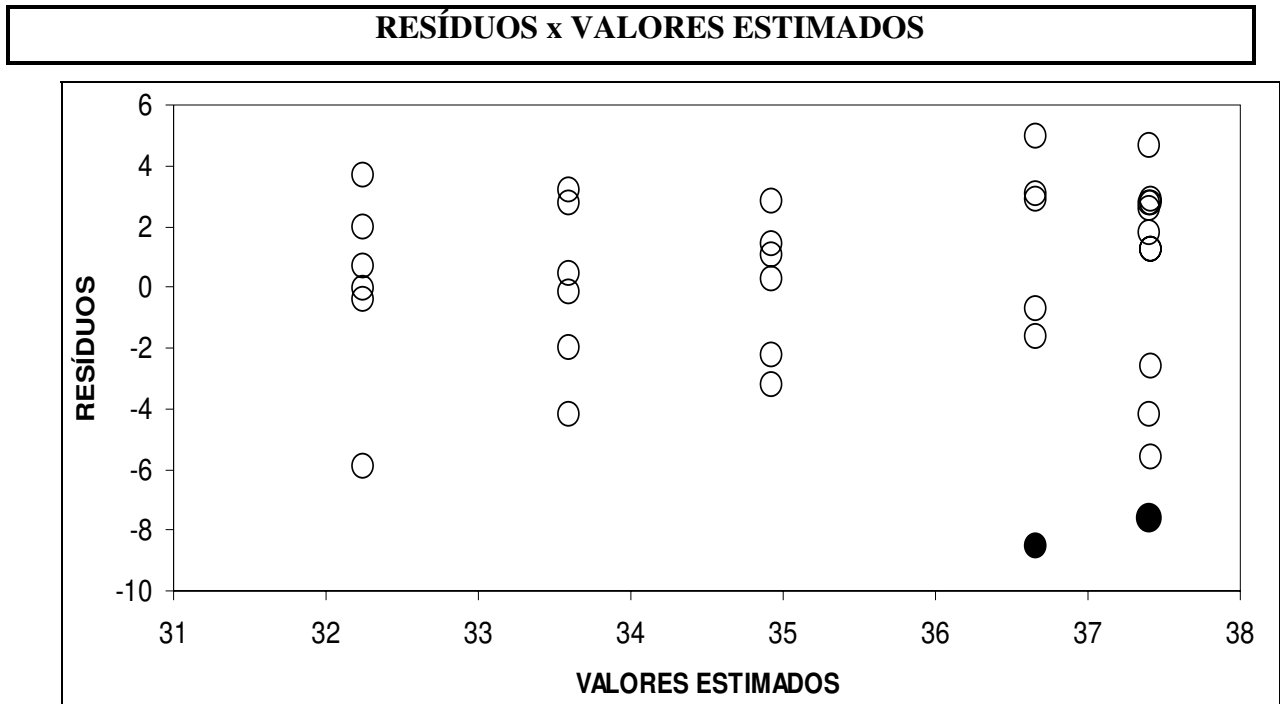


Figura 4.279 - R x VE - Módulo de resistência à flexão estática.

Na análise da tabela 4.12 e da figura 4.279 evidenciam-se distribuições aleatórias de variância, indicando que houve homogeneidade no processo de fabricação das chapas de fibra. Nesses objetos de análise destacam-se dois eventos, o primeiro corpo-de-prova da chapa 2 e quinto corpo-de-prova da chapa 5 com altos valores de resíduos (**R**) igual a **(– 7,60 e – 8,51)**, ambos pertencem às regiões das bordas das chapas com módulo de resistência a flexão estática (**MOR**) igual a **(29,89 e 28,14)** MPa. Apesar dos altos valores de resíduos o modelo de análise adotado determinou em primeiro plano uma distribuição aleatória de variância, além do que, os módulos de resistência à flexão estática são compatíveis com os valores mínimos propostos pela EMB (**23 e 20**) MPa.

Na figura 4.280 observa-se o gráfico dos resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) e na tabela 4.13 a análise de variância múltipla por comparação de médias do módulo de resistência à flexão estática (**MOR**).

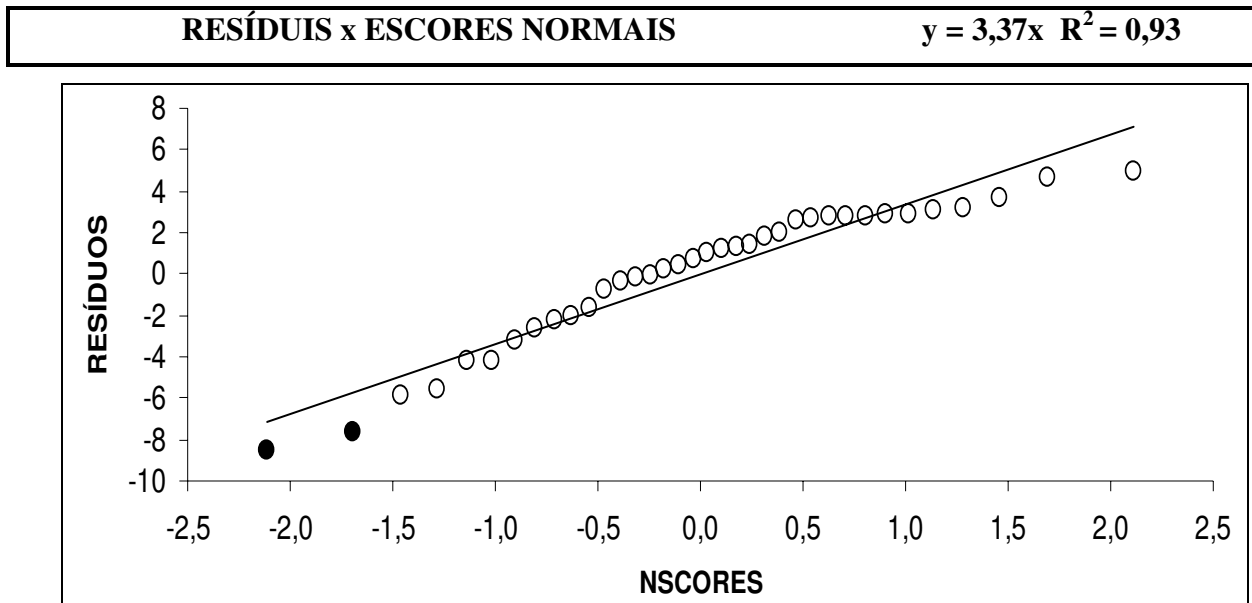


Figura 4.280 - R x EN - Módulo de resistência à flexão estática.

Tabela 4.13 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do **MOR**.

E	CH	$\bar{X}$	CH	$\bar{X}$	DMA	DMS	INTERVALO		RESULTADO	RM
15	1	32,2	2	37,4	5,16	-6,46	-11,62	1,31	=	0,86
	1	32,2	3	33,6	1,35	-6,46	-7,81	5,11	=	0,96
	2	37,4	3	33,6	3,81	1,15	-2,66	10,27	=	1,11
8	4	34,9	5	36,7	1,73	-6,46	-8,19	4,737	=	0,95
	4	34,9	6	37,4	2,49	-6,46	-8,949	3,979	=	0,93
	5	36,7	6	37,4	0,76	-6,46	-7,222	5,705	=	0,98

Os pontos traçados no gráfico da figura 4.280 tendem a uma linearidade indicando a hipótese de normalidade dos dados. E na tabela 4.13, a comparação entre as médias das resistências das chapas (1 - 2); (1 - 3); (2 - 3); (4 - 5); (4 - 6); (5 - 6) apresentaram valores com sinais (- e +), indicando que as chapas são “iguais”. Esta análise conclui que as referidas chapas são repetições idênticas, não havendo interferência do procedimento adotado para suas confecções. No Anexo 5 (tabela A5.1), estão apresentadas as análises estatísticas desenvolvidas para o modelo.

A tabela 4.14 apresenta o modelo para a análise estatística do módulo de resistência à flexão estática (**MOR**) das chapas de *Eucalyptus grandis* com 15 e 8 mm de espessura (**E**).

Tabela 4.14 - Modelo para análise estatística do **MOR** das chapas de *Eucalyptus grandis*.

EUCALIPTO		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	BL	T	MOR	R	VE	EN
CE 4	Chapa 7	15	6	3,46	29,55	11,69	1	7	30,74	1,192	29,548	-0,035
							1	7	31,04	1,492	29,548	0,035
							1	7	32,88	3,332	29,548	1,138
							1	7	31,34	1,792	29,548	0,174
							1	7	28,02	-1,528	29,548	-0,626
							1	7	23,27	-6,278	29,548	-1,282
	Chapa 8	15	6	3,22	30,16	10,67	1	8	28,88	-1,283	30,163	-0,544
							1	8	31,93	1,767	30,163	0,104
							1	8	32,76	2,597	30,163	0,544
							1	8	32,89	2,727	30,163	0,805
							1	8	30,09	-0,073	30,163	-0,244
							1	8	24,43	-5,733	30,163	-1,138
	Chapa 9	15	6	4,98	31,05	16,04	1	9	33,32	2,273	31,047	0,390
							1	9	35,81	4,763	31,047	1,697
							1	9	33,69	2,643	31,047	0,626
							1	9	33,00	1,953	31,047	0,244
							1	9	28,20	-2,847	31,047	-0,713
							1	9	22,26	-8,787	31,047	-1,697
CE 6	Chapa 10	8	6	3,06	36,72	8,34	2	10	33,35	-3,372	36,722	-0,905
							2	10	37,41	0,688	36,722	-0,174
							2	10	39,69	2,968	36,722	0,905
							2	10	40,28	3,558	36,722	1,282
							2	10	36,56	-0,162	36,722	-0,316
							2	10	33,04	-3,682	36,722	-1,015
	Chapa 11	8	6	5,41	37,85	14,30	2	11	37,18	-0,665	37,845	-0,390
							2	11	41,02	3,175	37,845	1,015
							2	11	43,79	5,945	37,845	2,114
							2	11	39,92	2,075	37,845	0,316
							2	11	37,10	-0,745	37,845	-0,466
							2	11	28,06	-9,785	37,845	-2,114
	Chapa 12	8	6	4,00	38,57	10,38	2	12	32,21	-6,355	38,565	-1,458
							2	12	39,34	0,775	38,565	-0,104
							2	12	40,95	2,385	38,565	0,466
							2	12	42,43	3,865	38,565	1,458
							2	12	41,25	2,685	38,565	0,713
							2	12	35,21	-3,355	38,565	-0,805

A figura 4.281 apresenta o gráfico dos resíduos (**R**) contra valores estimados (**VN**), objetivando-se verificar o comportamento da distribuição da variância.

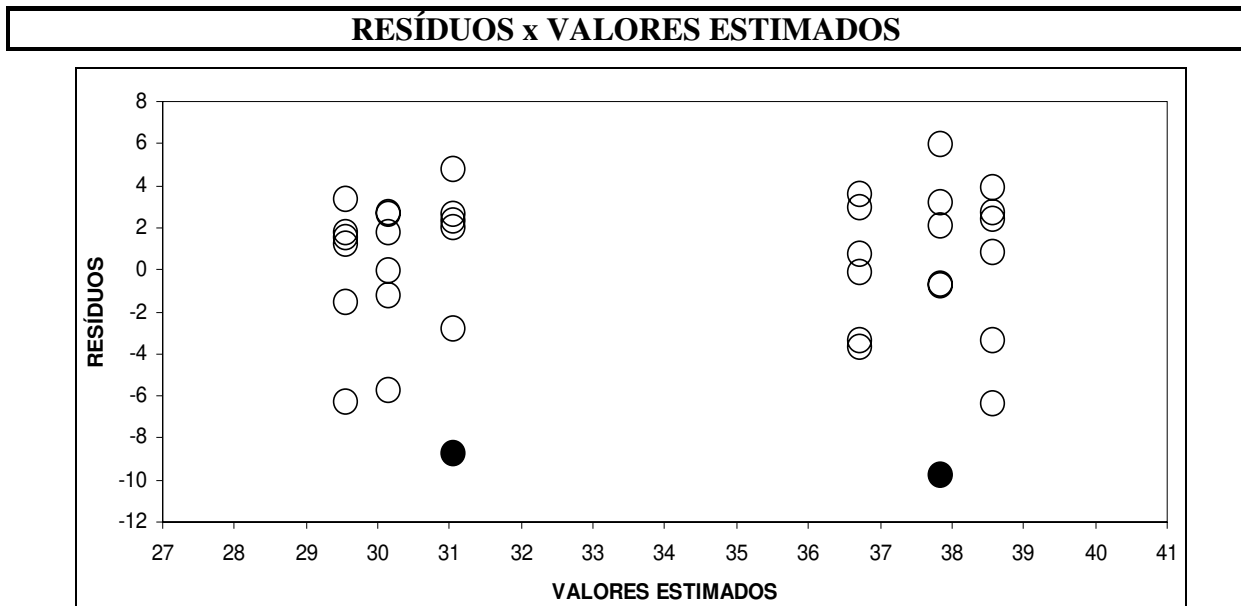


Figura 4.281 - R x VE - Módulo de resistência à flexão estática.

Na análise da tabela 4.14 e da figura 4.281 evidenciam-se distribuições aleatórias de variância, indicando que houve homogeneidade no processo de fabricação das chapas de fibra. Nesses objetos de análise destacam-se dois eventos, o sexto corpo-de-prova da chapa 9 e sexto corpo-de-prova da chapa 11 com altos valores de resíduos (**R**) iguais a (**- 8,79 e - 9,78**), ambos pertencem às regiões das bordas das chapas com módulo de resistência a flexão estática (**MOR**) igual a (**22,26 e 28,06**) MPa. Apesar dos altos valores de resíduos o modelo de análise adotado determinou em primeiro plano uma distribuição aleatória de variância, além do que, os valores dos módulos de resistência à flexão estática são compatíveis com os mínimos propostos pela EMB (**23 e 20**) MPa.

Na figura 4.282 observa-se o gráfico dos resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) e na tabela 4.15 a análise de variância múltipla por comparação de médias do módulo de resistência à flexão estática (**MOR**).

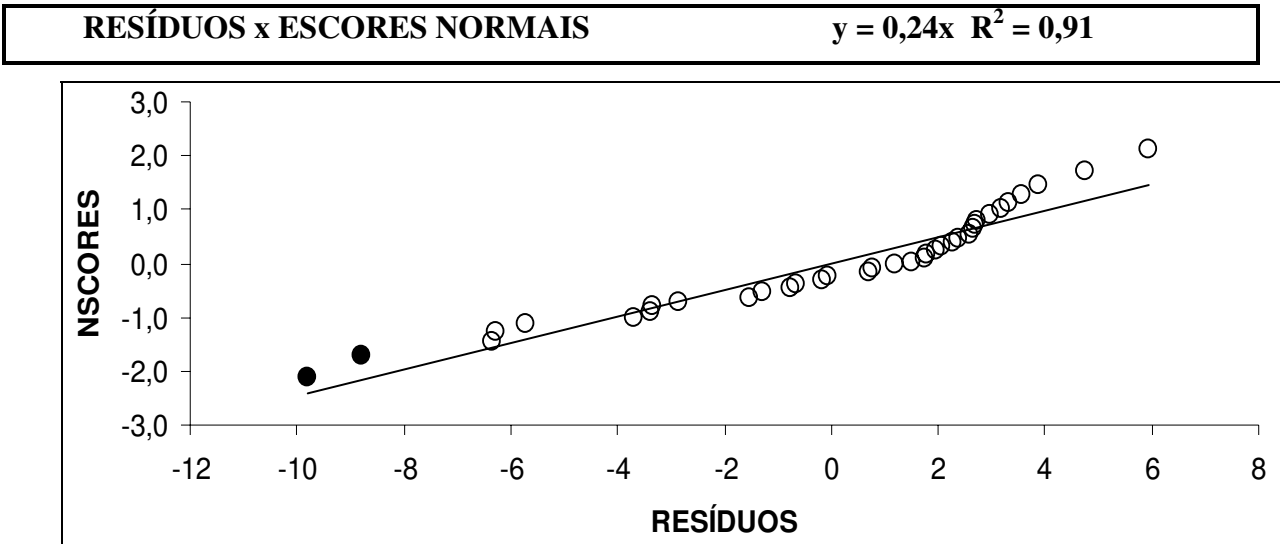


Figura 4.282 - R x EN - Módulo de resistência à flexão estática.

Tabela 4.15 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do **MOR**.

E	CH	$\bar{X}$	CH	$\bar{X}$	DMA	DMS	INTERVALO	RESULTADO	RM	
15	7	29,5	8	30,1	0,60	-7,25	-7,85	6,65	=	0,98
	7	29,5	9	31,0	1,54	-8,19	-9,73	5,73	=	0,95
	8	30,1	9	31,0	0,94	-7,17	-8,11	6,35	=	0,97
8	10	36,7	11	37,8	1,10	-12,93	-14,03	4,32	=	0,97
	10	36,7	12	38,6	1,90	-7,17	-9,07	5,39	=	0,95
	11	37,8	12	38,6	0,80	-7,15	-7,95	6,51	=	0,98

Os pontos traçados no gráfico da figura 4.282 tendem a uma linearidade indicando a hipótese de normalidade dos dados. E na tabela 4.15, a comparação entre as médias das resistências das chapas (7 - 8); (7 - 9); (8 - 9); (10 - 11); (10 - 12); (11 - 12) apresentaram valores com sinais (- e +), indicando que as chapas são “iguais”. Esta análise conclui que as referidas chapas são repetições idênticas, não havendo influência do procedimento adotado para suas confecções. No Anexo 5 (tabela A5.2), estão apresentadas as análises estatísticas desenvolvidas para o modelo.

4.8.2. MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP)

As tabelas 4.16 e 4.17 apresentam o modelo para análise estatística do módulo de resistência à tração perpendicular (TP) das chapas de fibra de *Pinus caribaea* com 15 e 8 mm de espessura (E).

Tabela 4.16 - Modelo para análise estatística do TP das chapas de *Pinus caribaea*.

Pinus		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	B	T	TP	R	VE	EN
CE 1	Chapa 1	15	12	0,06	0,79	7,52	1	1	0,77	-0,0250	0,7950	-0,3914
							1	1	0,89	0,0950	0,7950	1,2136
							1	1	0,82	0,0250	0,7950	0,1568
							1	1	0,82	0,0250	0,7950	0,1568
							1	1	0,72	-0,0750	0,7950	-0,8330
							1	1	0,69	-0,1050	0,7950	-1,0491
							1	1	0,89	0,0950	0,7950	1,2136
							1	1	0,82	0,0250	0,7950	0,1568
							1	1	0,77	-0,0250	0,7950	-0,3914
							1	1	0,81	0,0150	0,7950	0,0174
							1	1	0,77	-0,0250	0,7950	-0,3914
							1	1	0,77	-0,0250	0,7950	-0,3914
	Chapa 2	15	12	0,06	0,90	6,29	1	2	0,87	-0,0300	0,9000	-0,5264
							1	2	0,97	0,0700	0,9000	0,7849
							1	2	0,98	0,0800	0,9000	0,9908
							1	2	0,94	0,0400	0,9000	0,4102
							1	2	0,93	0,0300	0,9000	0,2632
							1	2	0,86	-0,0400	0,9000	-0,6289
							1	2	0,84	-0,0600	0,9000	-0,7385
							1	2	0,96	0,0600	0,9000	0,6937
							1	2	0,86	-0,0400	0,9000	-0,6289
							1	2	0,90	0,0000	0,9000	-0,0868
							1	2	0,89	-0,0100	0,9000	-0,2275
							1	2	0,80	-0,1000	0,9000	-0,9908
	Chapa 3	15	12	0,06	0,72	8,70	1	3	0,71	-0,0075	0,7175	-0,1744
							1	3	0,74	0,0225	0,7175	0,0868
							1	3	0,76	0,0425	0,7175	0,4869
							1	3	0,79	0,0725	0,7175	0,8330
							1	3	0,68	-0,0375	0,7175	-0,5667
							1	3	0,59	-0,1275	0,7175	-1,4689
							1	3	0,62	-0,0975	0,7175	-0,9356
							1	3	0,78	0,0625	0,7175	0,7385
							1	3	0,77	0,0525	0,7175	0,5872
							1	3	0,75	0,0325	0,7175	0,2993
							1	3	0,72	0,0025	0,7175	-0,0521
							1	3	0,70	-0,0175	0,7175	-0,2812

Tabela 4.17 - Modelo para análise estatística do **TP** das chapas de *Pinus caribaea*.

Pinus		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	B	T	TP	R	VE	EN
CE 3	Chapa 4	8	12	0,10	1,32	7,63	2	4	1,30	-0,0175	1,3175	-0,2812
							2	4	1,19	-0,1275	1,3175	-1,4689
							2	4	1,21	-0,1075	1,3175	-1,1781
							2	4	1,40	0,0825	1,3175	1,0491
							2	4	1,29	-0,0275	1,3175	-0,4869
							2	4	1,13	-0,1875	1,3175	-2,0048
							2	4	1,37	0,0525	1,3175	0,5872
							2	4	1,47	0,1525	1,3175	2,0048
							2	4	1,36	0,0425	1,3175	0,4869
							2	4	1,31	-0,0075	1,3175	-0,1744
							2	4	1,36	0,0425	1,3175	0,4869
							2	4	1,42	0,1025	1,3175	1,3304
	Chapa 5	8	12	0,10	1,50	6,55	2	5	1,39	-0,1058	1,4958	-1,1113
							2	5	1,62	0,1242	1,4958	1,6432
							2	5	1,60	0,1042	1,4958	1,4689
							2	5	1,49	-0,0058	1,4958	-0,1217
							2	5	1,57	0,0742	1,4958	0,8831
							2	5	1,53	0,0342	1,4958	0,3542
							2	5	1,51	0,0142	1,4958	-0,0174
							2	5	1,34	-0,1558	1,4958	-1,7949
							2	5	1,60	0,1042	1,4958	1,4689
							2	5	1,37	-0,1258	1,4958	-1,3304
							2	5	1,40	-0,0958	1,4958	-0,8831
							2	5	1,53	0,0342	1,4958	0,3542
	Chapa 6	8	12	0,12	1,38	8,91	2	6	1,23	-0,1525	1,3825	-1,6432
							2	6	1,27	-0,1125	1,3825	-1,2506
							2	6	1,57	0,1875	1,3825	2,3803
							2	6	1,33	-0,0525	1,3825	-0,6937
							2	6	1,32	-0,0625	1,3825	-0,7849
							2	6	1,47	0,0875	1,3825	1,1113
							2	6	1,41	0,0275	1,3825	0,2275
							2	6	1,46	0,0775	1,3825	0,9356
							2	6	1,16	-0,2225	1,3825	-2,3803
							2	6	1,44	0,0575	1,3825	0,6502
							2	6	1,53	0,1475	1,3825	1,7949
							2	6	1,40	0,0175	1,3825	0,0521

A figura 4.283 apresenta o gráfico dos resíduos (**R**) contra valores estimados (**VE**) objetivando-se verificar o comportamento da distribuição da variância.

RESÍDUOS x VALORES ESTIMADOS

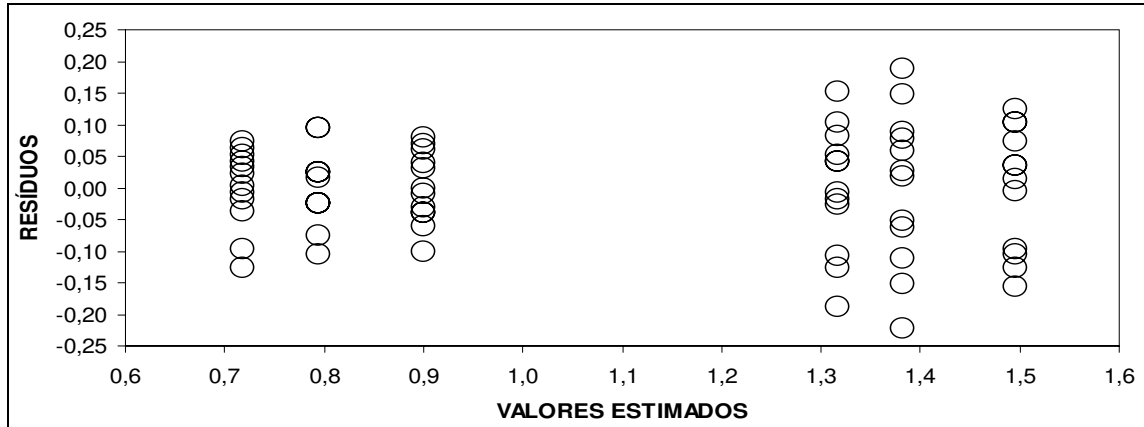


Figura 4.283 - R x VE - Módulo de resistência à tração perpendicular.

Na análise das tabelas 4.16, 4.17 e da figura 4.283 evidenciam-se distribuições aleatórias de variância, indicando que houve homogeneidade no processo de fabricação das chapas de fibra. Nesses objetos de análise observa-se que não ocorreram altos valores de resíduos e os valores dos módulos de resistência à tração perpendicular são compatíveis aos valores mínimos propostos pela EMB (**0,55**) MPa, apresentando-se de maneira uniforme tanto nas bordas como nas regiões centrais das chapas.

Na figura 4.284 observa-se o gráfico dos resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) e na tabela 4.18 a análise de variância múltipla por comparação de médias do módulo de resistência à tração perpendicular (**TP**).

RESÍDUOS x ESCORES NORMAIS

$$y = 0,08x \quad R^2 = 0,98$$

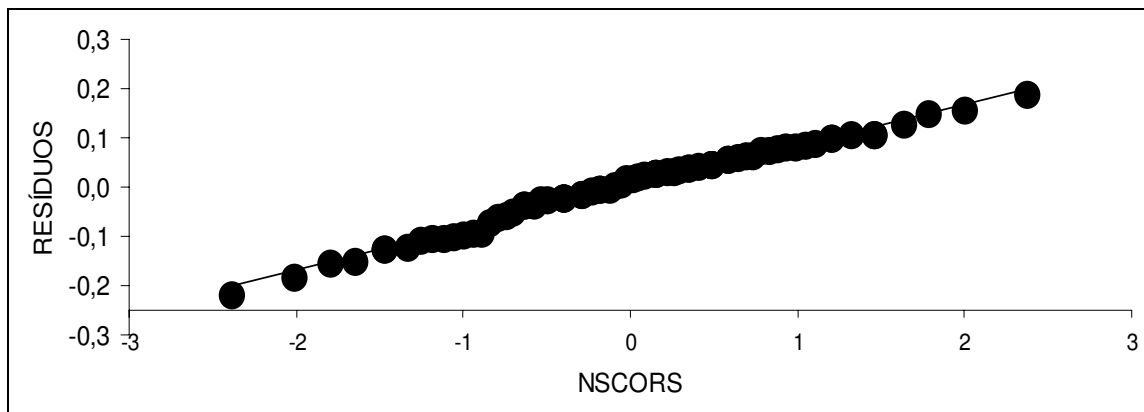


Figura 4.284 - R x EN - Módulo de resistência à tração perpendicular.

Tabela 4.18 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do **TP**.

E	CH	$\bar{X}$	CH	$\bar{X}$	DMA	DMS	INTERVALO	RESULTADO	RM
15	1	0,8	2	0,9	0,11	-0,10	-0,21 0,00	=	0,88
	1	0,8	3	0,7	0,07	0,04	-0,03 0,20	=	1,10
	2	0,9	3	0,7	0,20	0,28	0,08 0,30	≠	1,29
8	4	1,3	5	1,5	0,20	-0,08	-0,28 -0,10	≠	0,87
	4	1,3	6	1,4	0,10	-0,07	-0,17 0,04	=	0,93
	5	1,5	6	1,4	0,10	0,11	0,008 0,21	≠	1,07

Os pontos traçados no gráfico da figura 4.284 tendem a uma linearidade indicando a hipótese de normalidade dos dados. E na tabela 4.18, a comparação entre as médias das resistências das chapas (1 - 2); (1 - 3) e (4 - 6) apresentaram valores com sinais (- e +), indicando que as chapas são “iguais”, possibilitando inferir que o processo de confecção para essas chapas foi idêntico enquanto que as chapas (2 - 3); (4 - 5) e (5 - 6) apresentaram valores com sinais (+ e +); (- e -); (+ e +) indicando que as chapas são “diferentes”. Nesse caso foi possível inferir que o processo de distribuição manual das fibras provocou problemas de homogeneidade nas chapas. No Anexo 5 (tabela A5.3), estão apresentadas as análises estatísticas desenvolvidas.

Vale ressaltar que nos casos onde ocorreram diferenças entre as chapas, não houve comprometimento dos módulos de resistência à tração perpendicular que são compatíveis aos mínimos valores propostos pela EMB (0,55) MPa.

As tabelas 4.19 e 4.20 apresentam o modelo para análise estatística do módulo de resistência à tração perpendicular (TP) das chapas de *Eucalyptus grandis* com 15 e 8 mm de espessura.

Tabela 4.19 - Modelo para análise estatística do **TP** das chapas de *Eucalyptus grandis*.

Eucalipto		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	B	T	TP	R	VE	EN
CE 1	Chapa 1	15	12	0,04	0,53	7,01	1	1	0,51	-0,0150	0,5250	-0,0694
							1	1	0,48	-0,0450	0,5250	-0,8330
							1	1	0,49	-0,0350	0,5250	-0,6289
							1	1	0,55	0,0250	0,5250	0,3727
							1	1	0,51	-0,0150	0,5250	-0,0694
							1	1	0,52	-0,0050	0,5250	0,1217
							1	1	0,57	0,0450	0,5250	0,6502
							1	1	0,49	-0,0350	0,5250	-0,6289
							1	1	0,51	-0,0150	0,5250	-0,0694
							1	1	0,60	0,0750	0,5250	0,9908
							1	1	0,56	0,0350	0,5250	0,5667
							1	1	0,51	-0,0150	0,5250	-0,0694
	Chapa 2	15	12	0,06	0,60	9,67	1	2	0,71	0,1092	0,6008	1,4197
							1	2	0,58	-0,0208	0,6008	-0,1744
							1	2	0,59	-0,0108	0,6008	0,0347
							1	2	0,58	-0,0208	0,6008	-0,1744
							1	2	0,52	-0,0808	0,6008	-1,2136
							1	2	0,65	0,0492	0,6008	0,7385
							1	2	0,62	0,0192	0,6008	0,2993
							1	2	0,67	0,0692	0,6008	0,8831
							1	2	0,63	0,0292	0,6008	0,5264
							1	2	0,52	-0,0808	0,6008	-1,2136
							1	2	0,59	-0,0108	0,6008	0,0347
							1	2	0,55	-0,0508	0,6008	-0,8831
	Chapa 3	15	12	0,06	0,58	10,37	1	3	0,55	-0,0333	0,5833	-0,5464
							1	3	0,58	-0,0033	0,5833	0,1568
							1	3	0,67	0,0867	0,5833	1,1441
							1	3	0,54	-0,0433	0,5833	-0,7849
							1	3	0,49	-0,0933	0,5833	-1,4197
							1	3	0,55	-0,0333	0,5833	-0,5464
							1	3	0,61	0,0267	0,5833	0,4102
							1	3	0,67	0,0867	0,5833	1,1441
							1	3	0,51	-0,0733	0,5833	-1,0491
							1	3	0,56	-0,0233	0,5833	-0,3358
							1	3	0,62	0,0367	0,5833	0,6079
							1	3	0,65	0,0667	0,5833	0,8330

Tabela 4.20 - Modelo para análise estatística do **TP** para chapas de *Eucalyptus grandis*..

Eucalipto		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	B	T	TP	R	VE	EN
CE 3	Chapa 4	8	12	0,08	1,14	7,37	2	4	0,97	-0,1717	1,1417	-2,3803
							2	4	1,10	-0,0417	1,1417	-0,7385
							2	4	1,12	-0,0217	1,1417	-0,2275
							2	4	1,09	-0,0517	1,1417	-0,9356
							2	4	1,08	-0,0617	1,1417	-0,9908
							2	4	1,11	-0,0317	1,1417	-0,4291
							2	4	1,23	0,0883	1,1417	1,2895
							2	4	1,20	0,0583	1,1417	0,7849
							2	4	1,11	-0,0317	1,1417	-0,4291
							2	4	1,19	0,0483	1,1417	0,6937
							2	4	1,27	0,1283	1,1417	1,6432
							2	4	1,23	0,0883	1,1417	1,2895
	Chapa 5	8	12	0,06	1,08	5,91	2	5	1,06	-0,0225	1,0825	-0,2812
							2	5	0,97	-0,1125	1,0825	-1,6432
							2	5	1,11	0,0275	1,0825	0,4675
							2	5	1,10	0,0175	1,0825	0,2632
							2	5	1,11	0,0275	1,0825	0,4675
							2	5	1,09	0,0075	1,0825	0,2097
							2	5	1,05	-0,0325	1,0825	-0,4869
							2	5	1,16	0,0775	1,0825	1,0491
							2	5	1,20	0,1175	1,0825	1,5219
							2	5	0,99	-0,0925	1,0825	-1,3304
							2	5	1,09	0,0075	1,0825	0,2097
							2	5	1,06	-0,0225	1,0825	-0,2812
	Chapa 6	8	12	0,11	1,08	10,59	2	6	1,07	-0,0100	1,0800	0,0868
							2	6	1,24	0,1600	1,0800	2,0048
							2	6	1,25	0,1700	1,0800	2,3803
							2	6	1,22	0,1400	1,0800	1,7949
							2	6	1,15	0,0700	1,0800	0,9356
							2	6	1,05	-0,0300	1,0800	-0,3727
							2	6	1,04	-0,0400	1,0800	-0,6937
							2	6	0,91	-0,1700	1,0800	-2,0048
							2	6	0,96	-0,1200	1,0800	-1,7949
							2	6	1,00	-0,0800	1,0800	-1,1113
							2	6	1,10	0,0200	1,0800	0,3358
							2	6	0,97	-0,1100	1,0800	-1,5219

A figura 4.285 apresenta o gráfico dos resíduos (**R**) contra valores estimados (**VE**) para análise do comportamento da distribuição da variância.

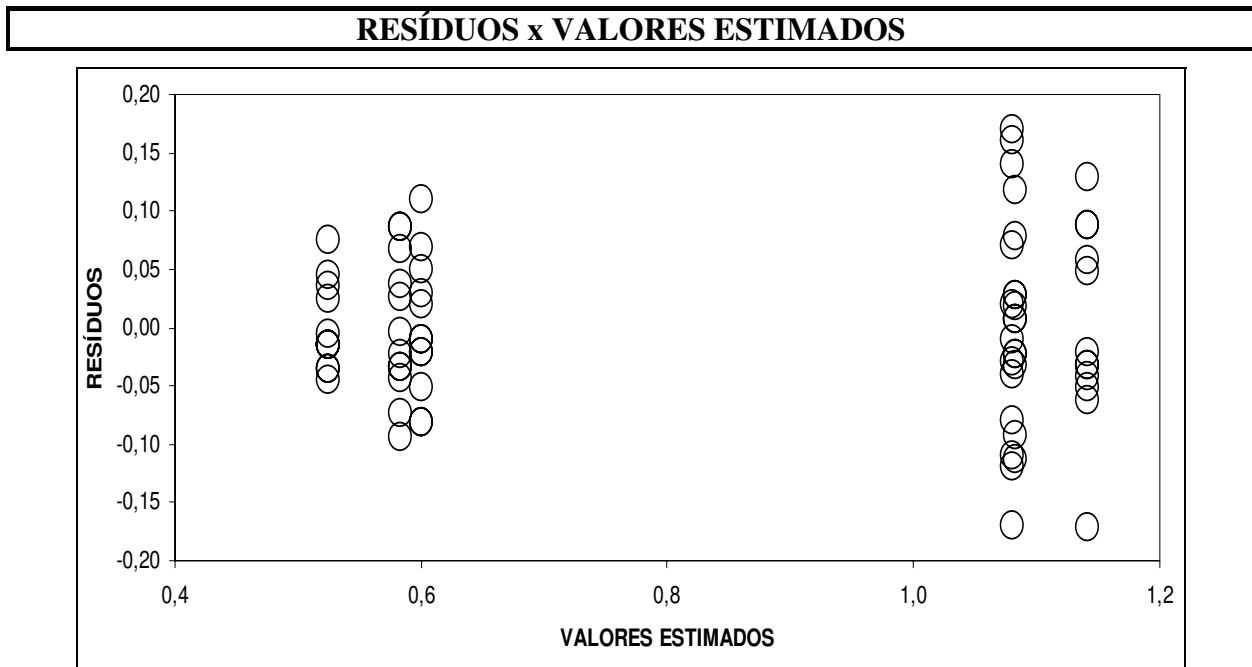


Figura 4.285 - R x VE - Módulo de resistência à tração perpendicular - chapa de eucalipto.

Na análise das tabelas 4.19, 4.20 e da figura 4.285 evidenciam-se distribuições aleatórias de variância, indicando que houve homogeneidade no processo de fabricação das chapas de fibra. Nesses objetos de análise observa-se que não ocorreram altos valores de resíduos e os valores dos módulos de resistência à tração perpendicular são compatíveis com os valores mínimos propostos pela EMB (**0,55**) MPa, apresentando-se de maneira uniforme tanto nas bordas como nas regiões centrais das chapas.

Na figura 4.286 observa-se o gráfico dos resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) e na tabela 4.21 a análise de variância múltipla por comparação de médias do módulo de resistência à tração perpendicular (**TP**).

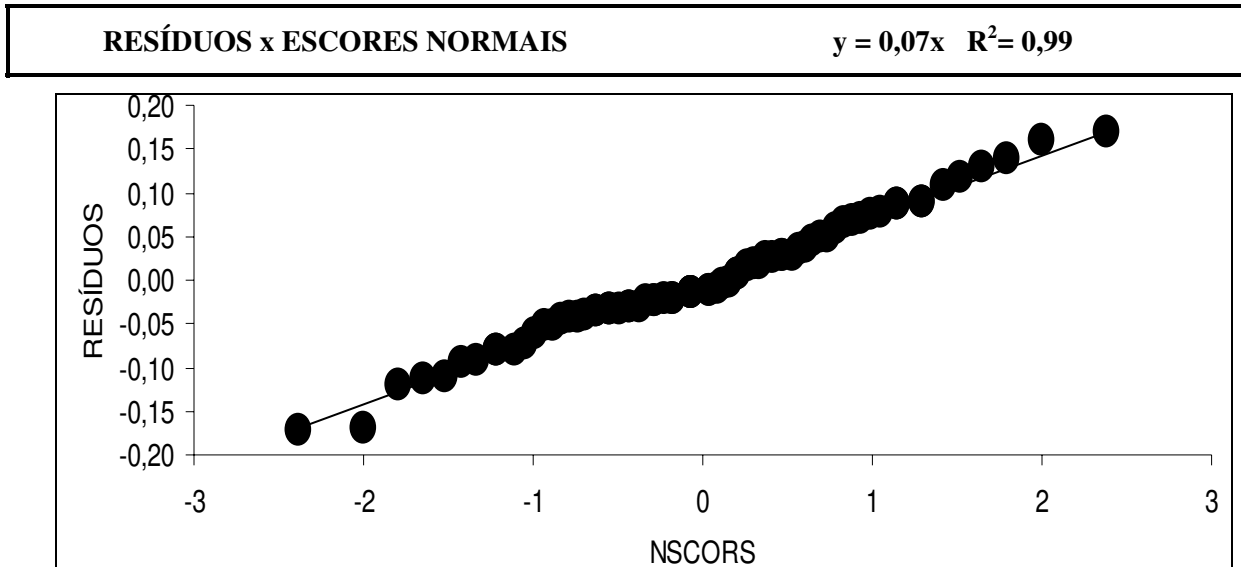


Figura 4.286 - R x EN - Módulo de resistência à tração perpendicular

Tabela 4.21 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas **TP**.

E	CH	$\bar{X}$	CH	$\bar{X}$	DMA	DMS	INTERVALO		RESULTADO	RM
15	1	0,5	2	0,6	0,08	-0,08	-0,16	0,01	=	0,87
	1	0,5	3	0,6	0,06	-0,08	-0,14	0,03	=	0,90
	2	0,6	3	0,6	0,00	-0,07	-0,07	0,10	=	1,00
8	4	1,1	5	1,1	0,00	-0,29	-0,29	0,14	=	1,00
	4	1,1	6	1,1	0,06	-0,20	-0,26	0,15	=	1,06
	5	1,1	6	1,1	0,00	-0,08	-0,08	0,09	=	1,00

Os pontos traçados no gráfico da figura 4.286 tendem a uma linearidade indicando a hipótese de normalidade dos dados. E na tabela 4.21, a comparação entre as médias das resistências das chapas (1 - 2); (1 - 3); (2 - 3); (4 - 5); (4 - 6) e (5 - 6) apresentaram valores com sinais (- e +), indicando que as chapas são “iguais”, possibilitando inferir que o processo de confecção dessas chapas foi idêntico. No Anexo 5 (tabela A5.4), estão apresentadas as análises estatísticas desenvolvidas para o modelo.

4.8.3 - MÓDULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SUPERFICIAL

A tabela 4.22 apresenta o modelo para análise estatística do módulo de resistência à tração superficial (TS) das chapas de **Pinus caribaea** com 8 e 15 mm de espessura.

Tabela 4.22 - Modelo para análise estatística TS das chapas de *Pinus caribaea*.

PINUS		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	B	T	TS	R	VE	EN
CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 1	CHAPA 1	15	5	0,04	1,43	2,90	1	1	1,47	0,0380	1,4320	0,3378
							1	1	1,47	0,0380	1,4320	0,3378
							1	1	1,42	-0,0120	1,4320	-0,3820
							1	1	1,37	-0,0620	1,4320	-0,6680
							1	1	1,43	-0,0020	1,4320	-0,2512
	CHAPA 2	15	5	0,21	1,65	12,72	1	2	1,67	0,0240	1,6460	-0,0414
							1	2	1,76	0,1140	1,6460	1,0241
							1	2	1,83	0,1840	1,6460	1,6098
							1	2	1,68	0,0340	1,6460	0,1665
							1	2	1,29	-0,3560	1,6460	-1,6098
	CHAPA 3	15	5	0,08	1,30	5,94	1	3	1,33	0,0340	1,2960	0,1665
							1	3	1,35	0,0540	1,2960	0,4728
							1	3	1,32	0,0240	1,2960	-0,0414
							1	3	1,32	0,0240	1,2960	-0,0414
							1	3	1,16	-0,1360	1,2960	-1,0241
CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 3	CHAPA 4	8	5	0,10	1,55	6,43	2	4	1,40	-0,1520	1,5520	-1,3609
							2	4	1,62	0,0680	1,5520	0,5677
							2	4	1,53	-0,0220	1,5520	-0,5677
							2	4	1,66	0,1080	1,5520	0,8929
							2	4	1,55	-0,0020	1,5520	-0,2512
	CHAPA 5	8	5	0,22	1,60	13,56	2	5	1,58	-0,0160	1,5960	-0,4728
							2	5	1,76	0,1640	1,5960	1,3609
							2	5	1,74	0,1440	1,5960	1,1758
							2	5	1,67	0,0740	1,5960	0,6680
							2	5	1,23	-0,3660	1,5960	-2,0403
	CHAPA 6	8	5	0,15	1,70	8,85	2	6	1,56	-0,1400	1,7000	-1,1758
							2	6	1,79	0,0900	1,7000	0,7756
							2	6	1,61	-0,0900	1,7000	-0,8929
							2	6	1,62	-0,0800	1,7000	-0,7756
							2	6	1,92	0,2200	1,7000	2,0403

A figura 4.287 apresenta o gráfico dos resíduos (R) contra valores estimados (VE) objetivando-se verificar o comportamento da distribuição da variância.

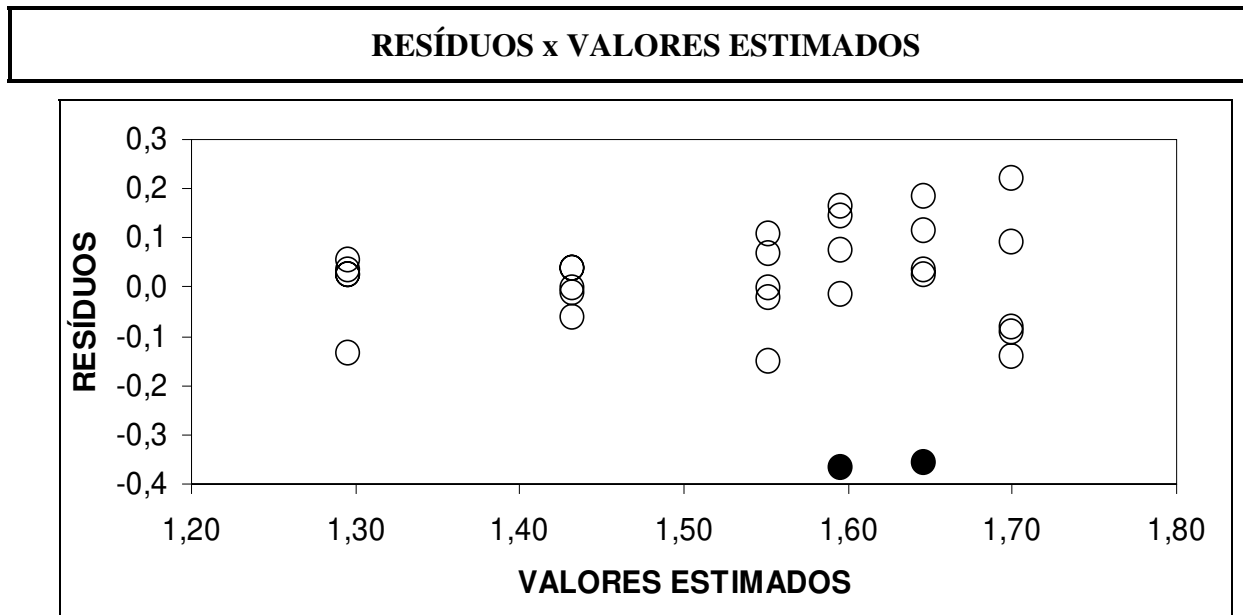


Figura 4.287 - R x VE - Módulo de resistência à tração superficial.

Na análise da tabela 4.22 e da figura 4.287 verificam-se distribuições aleatórias de variância, indicando que houve homogeneidade no processo de fabricação das chapas de fibra. Nesses objetos de análise destacam-se dois eventos, o quinto corpo-de-prova da chapa 1 e quinto corpo-de-prova da chapa 5 com altos valores de resíduos (**R**) iguais a (**– 0,002 e – 0,36**), ambos pertencem às regiões das bordas das chapas com módulo de resistência à tração superficial (**TS**) igual a (**1,43 e 1,23**) MPa. Apesar dos altos valores de resíduos o modelo de análise adotado determinou em primeiro plano uma distribuição aleatória de variância, além do que, os valores dos módulos de resistência à tração superficial são compatíveis com os mínimos propostos pela EMB (**1,2**) MPa.

Na figura 4.288 observa-se o gráfico dos resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) e na tabela 4.23 a análise de variância múltipla por comparação de médias do módulo de resistência à tração superficial (**TS**).

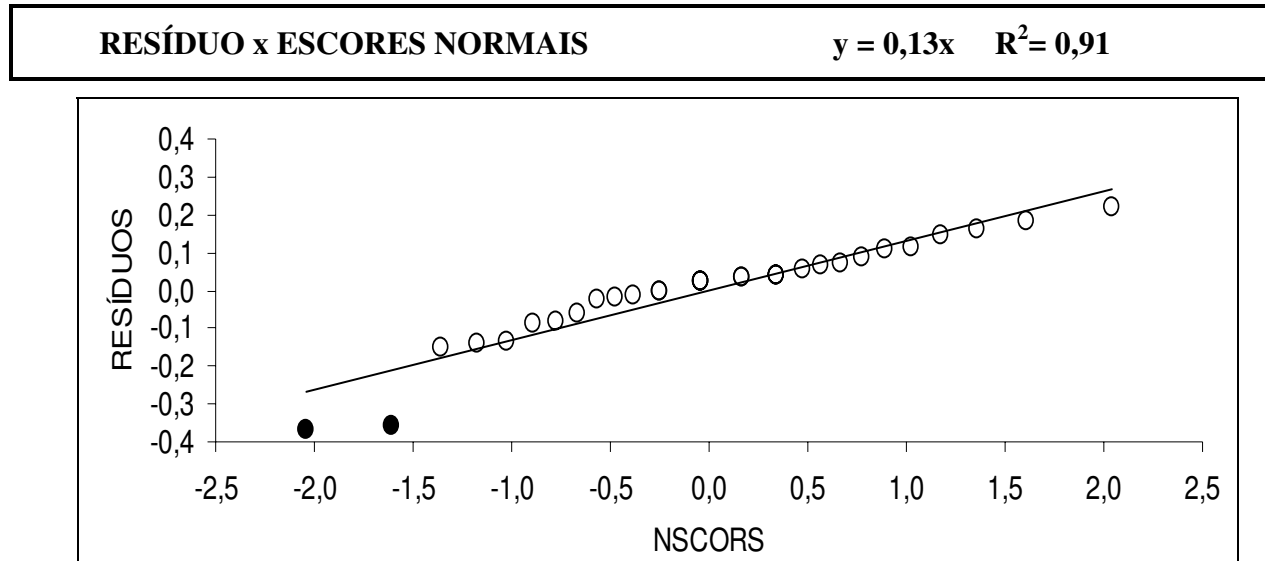


Figura 4.288 - R x EN - Módulo de resistência à tração superficial.

Tabela 4.23 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas dos TS.

E	CH	$\bar{X}$	CH	$\bar{X}$	DMA	DMS	INTERVALO		RESULTADO	RM
15	1	1,43	2	1,64	0,21	-0,29	-0,50	0,05	=	0,87
	1	1,43	3	1,29	0,14	-0,01	-0,15	0,42	=	1,11
	2	1,64	3	1,29	0,35	0,41	0,06	0,63	≠	1,27
8	4	1,55	5	1,59	0,04	-0,29	-0,33	0,24	=	0,97
	4	1,55	6	1,70	0,15	-0,28	-0,43	0,14	=	0,91
	5	1,59	6	1,70	0,11	-0,28	-0,39	0,18	=	0,94

Os pontos traçados no gráfico da figura 4.288 tendem a uma linearidade indicando a hipótese de normalidade dos dados. E na tabela 4.23, a comparação entre as médias dos módulos de resistências à tração superficial das chapas (1 - 2); (1 - 3); (4 - 5); (4 - 6) e (5 - 6) apresentaram valores com sinais (- e +), indicando que as chapas são “iguais” e possibilitando inferir que o processo de confecção foi idêntico, enquanto que as chapas (2 - 3) apresentaram valores com sinais (+ e +) indicando que essas chapas são “diferentes”. Neste caso foi possível inferir que o processo de distribuição manual das fibras provocou problemas de homogeneidade das chapas. No Anexo 5 (tabela A5.5), estão apresentadas as análises estatísticas desenvolvidas.

A tabela 4.24 apresenta o modelo para análise estatística do módulo de resistência à tração superficial (TS) das chapas de fibra de **Eucalyptus grandis** com 8 e 15 mm de espessura.

Tabela 4.24 - Modelo para análise estatística do TS das chapas de *Eucalyptus grandis*.

EUCALIPTO		E	CP	DP	$\bar{X}$	CV	B	T	TS	R	VE	EN
CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 1	CHAPA 1	15	5	0,09	1,27	6,77	1	1	1,25	-0,0240	1,2740	-0,2087
							1	1	1,37	0,0960	1,2740	0,8929
							1	1	1,15	-0,1240	1,2740	-1,1758
							1	1	1,34	0,0660	1,2740	0,6680
							1	1	1,26	-0,0140	1,2740	-0,1246
	CHAPA 2	15	5	0,11	1,318	8,49	1	2	1,28	-0,0380	1,3180	-0,3378
							1	2	1,33	0,0120	1,3180	0,0414
							1	2	1,50	0,1820	1,3180	1,3609
							1	2	1,28	-0,0380	1,3180	-0,3378
							1	2	1,20	-0,1180	1,3180	-1,0241
	CHAPA 3	15	5	0,07	1,348	4,85	1	3	1,28	-0,0680	1,3480	-0,7756
							1	3	1,41	0,0620	1,3480	0,5677
							1	3	1,34	-0,0080	1,3480	-0,0414
							1	3	1,42	0,0720	1,3480	0,7756
							1	3	1,29	-0,0580	1,3480	-0,6680
CONDIÇÃO EXPERIMENTAL 3	CHAPA 1	8	5	0,21	1,58	12,96	2	4	1,42	-0,1600	1,5800	-1,3609
							2	4	1,75	0,1700	1,5800	1,1758
							2	4	1,79	0,2100	1,5800	2,0403
							2	4	1,62	0,0400	1,5800	0,3820
							2	4	1,32	-0,2600	1,5800	-2,0403
	CHAPA 2	8	5	0,12	1,91	6,08	2	5	1,86	-0,0460	1,9060	-0,4728
							2	5	1,85	-0,0560	1,9060	-0,5677
							2	5	1,79	-0,1160	1,9060	-0,8929
							2	5	1,94	0,0340	1,9060	0,2942
							2	5	2,09	0,1840	1,9060	1,6098
	CHAPA 3	8	5	0,12	1,85	6,67	2	6	1,96	0,1080	1,8520	1,0241
							2	6	1,87	0,0180	1,8520	0,1246
							2	6	1,88	0,0280	1,8520	0,2087
							2	6	1,91	0,0580	1,8520	0,4728
							2	6	1,64	-0,2120	1,8520	-1,6098

A figura 4.289 apresenta o gráfico de resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) onde se observa o comportamento aleatório da distribuição da variância.

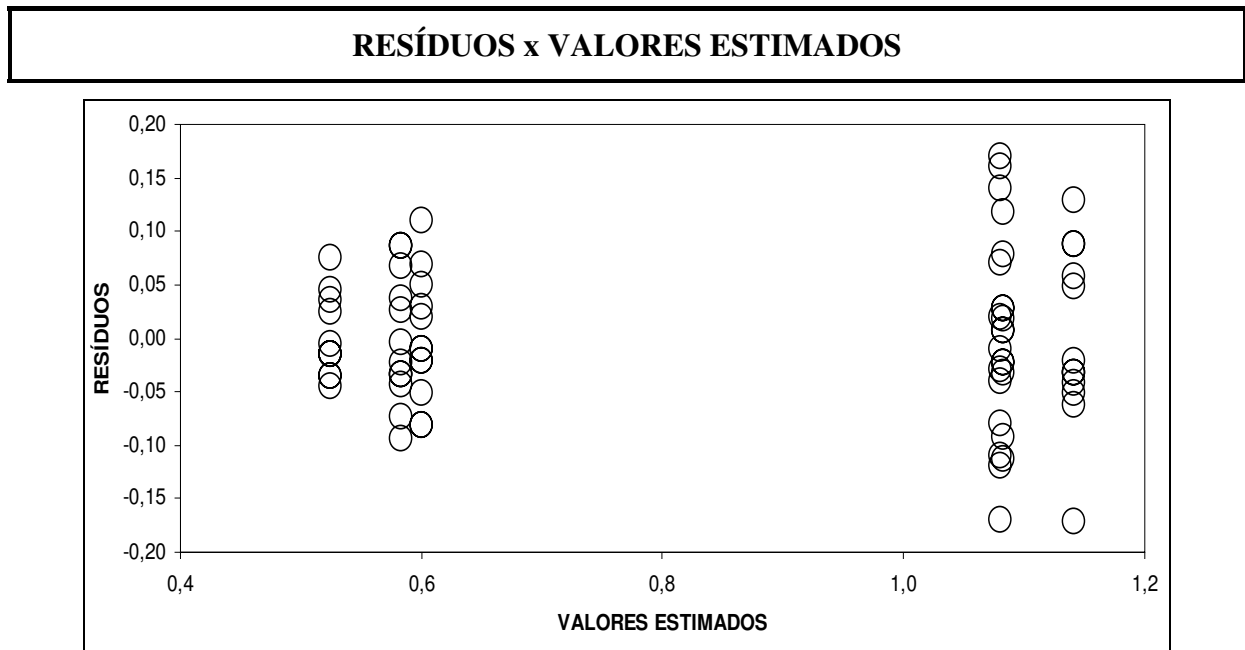


Figura 4.289 - R x VE - Módulo de resistência à tração superficial

Na tabelas 4.24 e na figura 4.289 verifica-se ocorrência de distribuição aleatória de variância, indicando que houve homogeneidade no processo de fabricação das chapas de fibra. Nesses objetos de análise observa-se que não ocorreram altos valores de resíduos e os valores dos módulos de resistência à tração superficial são compatíveis com os valores mínimos propostos pela EMB (**1,20**) MPa, apresentando-se de maneira uniforme tanto nas bordas como nas regiões centrais das chapas.

Na figura 4.290 observa-se o gráfico dos resíduos (**R**) contra escores normais (**EN**) e na tabela 4.25 a análise de variância múltipla por comparação de médias do módulo de resistência à tração superficial (**TS**).

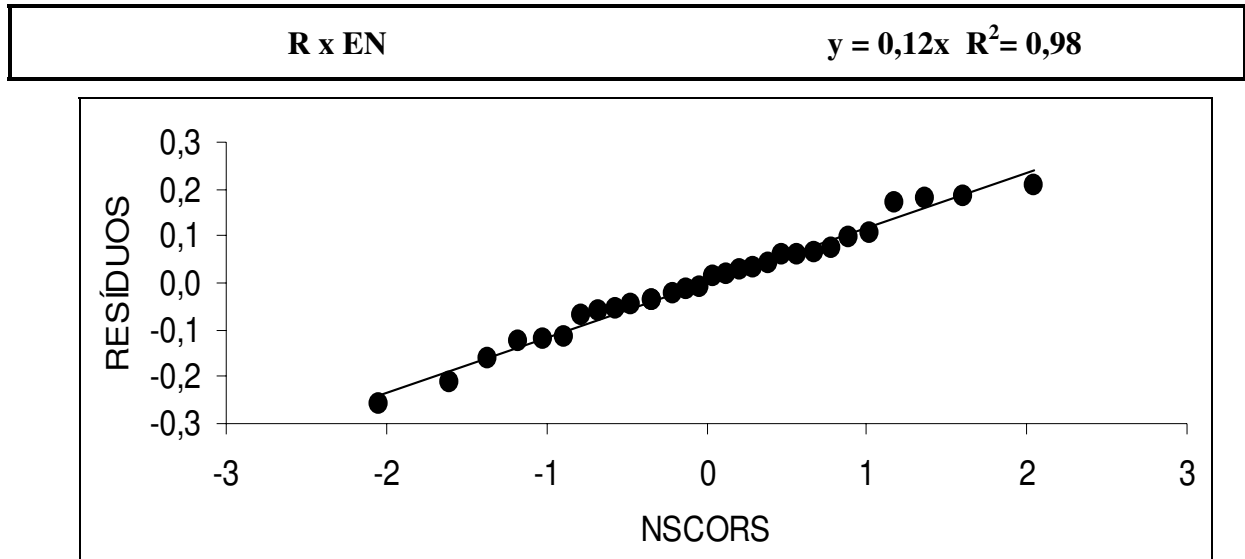


Figura 4.290 - R x EN - Módulo de resistência à tração superficial.

Tabela 4.25 - Comparação de médias por meio de análises de variância múltiplas do **TS**.

E	CH	$\bar{X}$	CH	$\bar{X}$	DMA	DMS	INTERVALO		RESULTADO	RM
15	1	1,27	2	1,31	0,04	-0,24	-0,28	0,20	=	0,97
	1	1,27	3	1,34	0,07	-0,24	-0,31	0,17	=	0,95
	2	1,31	3	1,34	0,03	-0,24	-0,27	0,21	=	0,98
8	4	1,58	5	1,90	0,32	-0,25	-0,57	-0,08	≠	0,83
	4	1,58	6	1,85	0,27	-0,24	-0,51	-0,03	≠	0,85
	5	1,90	6	1,85	0,05	-0,14	-0,19	0,29	=	1,03

Os pontos traçados no gráfico da figura 4.290 tendem a uma linearidade indicando a hipótese de normalidade dos dados. E na tabela 4.25, a comparação entre as médias das resistências das chapas (1 - 2); (1 - 3); (2 - 3) e (5 - 6) apresentaram valores com sinais (- e +), indicando que as chapas são “iguais” e possibilitando inferir que o processo de confecção foi idêntico, enquanto que as chapas (4 - 5) e (4 - 6) apresentaram valores com sinais (- e -) indicando que essas chapas são “diferentes”. Neste caso foi possível inferir que o processo de distribuição manual das fibras afetou a homogeneidade das chapas. No Anexo 5 (tabela A5.6), estão apresentadas as análises estatísticas desenvolvidas.

4.5 - ANÁLISE DOS MODELOS DE REGRESSÃO DA FASE III.

Para a análise dos modelos representativos das correlações entre os ensaios destrutivos normalizados e os ensaios não-destrutivos utilizando equipamento de ultra-som, foi proposto, no Capítulo III - Material e Métodos, a avaliação, não somente do coeficiente de determinação (R^2), como também de outros parâmetros da regressão tais como o teste F (com probabilidade $< 0,05$), coeficiente de variação da regressão ($< 15\%$) e normalidade dos resíduos ($P > 15$). Essas análises foram realizadas nas condições 1, 3, 4 e 6 da fase III, pois estas condições representam um desenvolvimento dos estudos para confecção das chapas que atingiram as melhores características físicas e mecânicas com valores de resistência muito significativos.

Com a análise desenvolvida foi possível identificar que as chapas das condições 3 e 6 apresentaram as melhores propriedades de resistência, conseqüentemente, a avaliação do modelo de regressão foi aplicada para os valores obtidos nessas chapas.

Os resultados de ensaios não-destrutivos (velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas e constantes dinâmicas), obtidos utilizando-se transdutores de faces exponenciais e planas aplicadas na direção y das chapas, foram correlacionados com o módulo de resistência à flexão estática e com o módulo de elasticidade. Enquanto que os resultados de ensaios obtidos por transdutores de faces planas aplicadas na direção z das chapas, foram correlacionados com o módulo de resistência à tração perpendicular e à tração superficial.

A tabela 4.26 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando-se valores de velocidades de propagações das ondas ultra-sônicas (VOC e VOS) e o módulo de resistência à flexão estática (MOR) da CE 3. No anexo 5 (tabela A5.7) verifica-se o desenvolvimento do modelo para análise de regressão.

Tabela 4.26 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOR das chapas da CE 3.

(VOC,VOS) x MOR						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R ²	CV(%)	F	P	N
	MOR = - 116 + 0,00666V	0,97	1,80	48,97	0,00	P > 15
	MOR = - 71,5 + 0,0424V	0,92	2,33	16,65	0,00	P > 15

A tabela 4.27 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando-se as velocidades de propagações das ondas ultra-sônicas (**VOS e VOS**) e o módulo de resistência à flexão estática da CE 6. No anexo 5 (tabela A5.8) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.27 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOR das chapas da CE 6.

(VOC, VOS) x MOR						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R ²	CV(%)	F	P	N
	MOR = -147 + 0,0812V	0,98	1,68	58,73	0,00	P > 15
	MOR = -148 + 0,0742V	0,97	2,07	40,82	0,00	P > 15

A tabela 4.28 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando-se velocidades de propagações das ondas ultra-sônicas (**VOC e VOS**) e módulo de elasticidade (**MOE**) da CE 3. No anexo 5 (tabela A5.9) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.28 - Análise de regressão entre a VOC, VOS e o MOE das chapas da CE 3

(VOC, VOS) x MOE						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R ²	CV(%)	F	P	N
	MOE = - 8176 + 4,84V	0,98	1,29	91,37	0,00	P > 15
	MOE = - -6470 + 3,68V	0,99	1,04	109,23	0,00	P > 15

A tabela 4.29 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando-se as velocidades de propagações das ondas ultra-sônicas (**VOC e VOS**) e o módulo de elasticidade (**MOE**) da CE 6. No anexo 5 (tabela A5.10) verifica-se o desenvolvimento da análise do modelo de regressão.

Tabela 4.29 - Análise de regressão entre a **VOC**, **VOS** e o **MOE** das chapas da CE 6.

(VOC, VOS) x MOE						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R ²	CV (%)	F	P	N
	MOE = - 10062 + 5,95V	0,96	1,85	33,64	0,00	P > 15
	MOE = - 9948 + 5,36V	0,96	1,85	33,87	0,00	P > 15

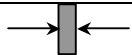
Na análise dos modelos de regressão observa-se que os valores obtidos para os coeficientes de determinação (**R²**) foram significativos, tendendo para 1, tanto para o caso da utilização dos transdutores de faces exponenciais como para os de faces planas. Conforme as tabelas 4.26 a 4.29, além da significância dos coeficientes de determinação, o teste (**F**) e o teste de normalidade (**N**) dos dados indicam que os modelos são preditivos.

Sob o ponto de vistas dos ensaios não-destrutivos, os coeficientes de determinação significativos estão relacionados ao comprimento das ondas ultra-sônicas e suas respectivas velocidades, ou seja, para uma velocidade de aproximadamente 2000 m/s, a uma frequência de 45 kHz (frequência do equipamento utilizado neste trabalho), o comprimento de onda é da ordem de 40mm.

Nos ensaios não-destrutivos realizados nas chapas deste trabalho, as distâncias percorridas pela onda (comprimento) foram de aproximadamente 400 mm, possibilitando que a leitura do tempo de propagação das ondas ultra-sônicas fosse realizada com pelo menos 10 ondas se propagando no corpo-de-prova. De acordo com a literatura existente, a velocidade da onda ultra-sônica deixa de ser afetada pela frequência do transdutor quando a relação $L/\lambda > 5$.

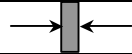
A tabela 4.30 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas (**VOC'**) e o módulo de resistência à tração perpendicular (**TP**) da CE 3. No Anexo 5 (tabela A5.11) verifica-se o desenvolvimento da análise do modelo de regressão.

Tabela 4.30 - Análise de regressão entre a **VOC'** e o **TP** das chapas da CE 3.

VOC' x TP						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R²	CV(%)	F	P	N
	$TP = - 0,453 + 0,0168V$	0,98	0,87	132,28	0,00	$P > 15$

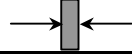
A tabela 4.31 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas (**VO**) e o módulo de resistência à tração perpendicular (**TP**) da CE 6. No Anexo 5 (tabela A5.12) verifica-se o desenvolvimento para análise modelo de regressão.

Tabela 4.31 - Análise de regressão entre a **VOC'** e o **TP** das chapas da CE 6.

VOC' x TP						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R²	CV(%)	F	P	N
	$TP = - 1,38 + 0,00217V$	0,96	1,57	72,64	0,00	$P > 15$

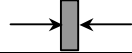
A tabela 4.32 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas (**VOC'**) e o módulo de resistência à tração superficial (**TS**) da condição 3. No Anexo 5 (tabela A5.13) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.32 - Análise de regressão entre a **VOC'** e o **TS** das chapas da CE 3.

VOC' x TS						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R²	CV(%)	F	P	N
	$TS = - 1,22 + 0,00269V$	0,92	1,88	12,15	0,00	$P > 15$

A tabela 4.33 apresenta a análise do modelo de regressão obtido utilizando as velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas (**VOC'**) e o módulo de resistência à tração superficial (**TS**) da CE 6. No Anexo 5 (tabela A5.14) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.33 - Análise de regressão entre a **VOC'** e o **TS** das chapas da CE 6.

VOC' x TS						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R²	CV(%)	F	P	N
	$TS = - 2,68 + 0,00408V$	0,93	2,29	10,11	0,00	$P > 15$

A análise dos modelos de regressão, apresentados nas tabelas 4.30 a 4.33, indicam que os coeficientes de determinação (R^2) foram significativos, tendendo para 1. Ressalta-se que o teste (F), o coeficiente de variação (CV) e o teste de normalidade (N) dos resíduos também foram significativos.

A tabela 4.34 apresenta a análise do modelo de regressão entre constante dinâmica (CTEOC e CTEOS) e módulo de resistência à flexão estática (MOR) da CE 3. No Anexo 5 (tabela A5.15) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.34 - Análise de regressão entre a CTEOC, CTEOS e o MOR das chapas da CE 3. (CTEOC, CTEOS) x MOR

Ensaio não-destrutivo	MODELO	R^2	CV(%)	F	P	N
	$MOR = -20,5 + 0,0142CTE$	0,94	2,48	26,08	0,00	$P > 15$
	$MOR = -16,2 + 0,0106CTE$	0,98	1,72	55,69	0,00	$P > 15$

A tabela 4.35 apresenta a análise do modelo de regressão entre constante dinâmica (CTEOC e CTEOS) e módulo de resistência à flexão estática (MOR) da CE 6. No Anexo 5 (tabela A5.16) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.35 - Análise de regressão entre a CTEOC, CTEOS e o MOR das chapas da CE 6. (CTEOC, CTEOS) x MOR

Ensaio não-destrutivo	MODELO	R^2	CV(%)	F	P	N
	$MOR = -63,3 + 0,0251CTE$	0,98	1,60	72,29	0,00	$P > 15$
	$MOR = -67,6 + 0,0216CTE$	0,97	1,97	47,55	0,00	$P > 15$

A tabela 4.36 apresenta a análise do modelo de regressão entre constante dinâmica (CTEOC e CTEOS) e o módulo de elasticidade (MOE) da CE 3. No Anexo 5 (tabela A5.17) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.36 - Análise de regressão entre **CTEOC**, **CTEOS** e o **MOE** das chapas da CE 3.

(CTEOC, CTEOS) x MOE						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R ²	CV(%)	F	P	N
	MOE = - 1498 + 1,100CTE	0,97	1,68	531,54	0,00	P > 15
	MOE = - 1081 + 0,802CTE	0,96	1,88	426,3	0,00	P > 15

A tabela 4.37 apresenta a análise do modelo de regressão entre constante dinâmica (**CTEOC** e **CTEOS**) e o módulo de elasticidade (**MOE**) da CE 6. No Anexo 5 (tabela A5.18) verifica-se o desenvolvimento para análise do modelo de regressão.

Tabela 4.37 - Análise de regressão entre **CTEOC**, **CTEOS** e o **MOE** das chapas da CE 6.

(CTEOC, CTEOS) x MOE						
Ensaio não-destrutivo	MODELO	R ²	CV(%)	F	P	N
	MOE = -3736 + 1,78CTE	0,95	1,95	30,35	0,00	P > 15
	MOE = -3894 + 1,51CTE	0,98	2,17	24,18	0,00	P > 15

As análises de regressões apresentadas nas tabelas 4.34 a 4.37 indicam que, não somente os coeficientes de determinação (**R²**) foram significativos, tendendo para 1, mas também as demais análises, demonstrando que os modelos são preditivos.

5. CONCLUSÕES

Na fase I, embora os primeiros ensaios realizados nas chapas com 5 e 10 % de PU3070 apresentassem resistências elevadas, as análises realizadas, por meio dos ensaios propostos pela EMB, possibilitaram concluir que o PU3070 apresentou problemas de forte degasagem, inviabilizando seu manuseio no momento da confecção das chapas.

Na fase II, verificou-se que a confecção das chapas com PU7030 e 12 % de umidade nas fibras propiciou boa homogeneização, facilitando o processo de prensagem e melhorando as propriedades físicas e de resistência das chapas. Nesta fase, a temperatura de prensagem foi outro aspecto avaliado. Neste caso foi possível concluir que a utilização de 160 °C foi adequada para confecção das chapas. Entretanto, a utilização de 190°C provocou degasagem e prejudicou a compactação e a adesão entre as fibras das chapas.

Ainda na fase II, embora não se tenha realizado uma avaliação estatística mais detalhada, foi possível concluir que a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas poderia ser utilizada como uma ferramenta de avaliação das propriedades das chapas, uma vez que as regressões entre a velocidade e as propriedades mecânicas apresentaram coeficientes de correlação elevados. Além disso, numa primeira análise sobre a variação das velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas nas chapas foi possível inferir sobre a variação da densidade.

Na fase III, as condições experimentais propostas com 3 % de PU7030 foram consideradas inadequadas, possibilitando verificar que esta proporção não propiciou adesão suficiente às fibras. Outro aspecto importante avaliado foi que as chapas de fibra confeccionadas com 12 % de umidade apresentaram melhores características, uma vez que essa umidade facilitou melhor dispersão do adesivo entre as fibras e cura do adesivo.

Vale ressaltar que no caso da resina uréia formaldeído a umidade usual é de aproximadamente 5 %, ou seja, há necessidade de secar as fibras para possibilitar a aplicação da uréia. Entretanto 12 % de umidade representam o estado natural das fibras, sem necessidade de secagem e propiciando economia de energia.

A influência da temperatura utilizada para confecção das chapas foi outra importante análise realizada nas condições experimentais da Fase III, pois, devido às características da PU7030 concluiu-se que é viável utilizar temperaturas menores que as usuais (aproximadamente 160 °C), podendo, também, refletir numa significativa economia de energia na industrialização das chapas.

Os valores de resistência, obtidos com as chapas produzidas com a resina poliuretana derivado do óleo de mamona, mostraram-se superiores aos padrões exigidos pela EMB.

Os valores das propriedades de resistência das chapas apresentaram distribuição aleatória de variância, hipótese de normalidade dos dados com coeficiente de correlação superior a 90 % e análise de variância múltipla indicando que, de modo geral, os procedimentos utilizados propiciaram a confecção de chapas iguais, ou seja, possibilitaram concluir que houve boa condução no processo de confecção das chapas. Em alguns casos foi observado que, devido à distribuição manual das fibras na preparação do colchão de fibras, as chapas apresentaram diferenças entre si, sem comprometer, entretanto, suas propriedades de resistência.

A análise estatística detalhada (verificação de $P < 0,05$; coeficiente de determinação próximo de 1,0; coeficiente de variação $< 15\%$ e normalidade dos resíduos) dos modelos de regressão obtidos entre os ensaios destrutivos e não-destrutivos, permitiu concluir que os mesmos são estatisticamente significativos e preditivos. Esse resultado indica que os ensaios não-destrutivos, utilizando equipamento de ultra-som, podem ser propostos para caracterizar as propriedades de resistência e de rigidez das chapas de fibra.

SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS ESTUDOS

- 1- Realização de ensaios para verificação da deterioração das chapas confeccionadas com a poliuretana derivada do óleo de mamona, devido ao intemperismo e ao ataque biológico.
- 2- Implantação de ensaios não-destrutivos, utilizando equipamento de ultra-som, na linha de produção para verificação da homogeneidade e das propriedades de resistência das chapas, uma vez que esses ensaios possibilitam fácil automação e aquisição de dados, propiciando economia de mão-de-obra e rapidez na obtenção de resultados para caracterização das chapas da linha de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBITTRON, R. O.; SHORT, P. H.; LYON, D. E. **Resin efficiency in medium-density fiberboard**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD; Eleventh, Pullman, Washington 1976. Proceedings. Washington: Washington State University; p. 101-129. 1976.

ASPLUND, A. **Development of the thermo mechanical pulping method**. In: INTERNATIONAL MECHANICAL PULPING CONFERENCE, Stockholm, 1973. Proceedings. Stockholm, EUCEPA; v. 2, p. 15-21. 1973

____ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE CHAPAS DE MADEIRA ABIPA. **Artigo sobre painéis MDF**. Gazeta Mercantil. São Paulo, 2000.

AZAMBUJA, Maximiliano A.; DIAS, Antônio A. **“Avaliação do adesivo poliuretana à base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC)**. Dissertação de Mestrado. Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

BARTHOLOMEU, André. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som**. 105p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Área de Concentração Construções Rurais. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas (SP), 2001.

BARTHOLOMEU, André; GONÇALVES, Raquel; BUCUR, Voichita. **Dispersion of ultrasonic waves in Eucalyptus lumber as a function the geometry of boards**. Scientia Forestalis; n. 63; p. 235-240; jun. 2003.

BARTHOLOMEU, André; GONÇALVES, Raquel; HERNÁNDEZ, Roger. E. Montagem de equipamento para ensaios não destrutivos em madeira utilizando ultra-som. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, VI, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis (SC): Imprensa Universitária da UFSC, v.4, p. 345-354, 1998.

____BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO – BNDES. **Painéis de madeira reconstituída.** Áreas de Setores Produtivos 1 – SP1. Produtos Florestais. Gerência Executiva Operacional 1. www.bndes.gov.br; julho; 2002.

BÜCKING, G. **Resin blending of MDF fiber.** In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD.** Washington 1980. Proceedings. Washington: Washington State University; p. 269 – 276. 1982.

BUCUR, Voichita. **Ondes ultrasonores dans le bois. Carcterization mécanique et qualité de certains essences de bois.** 188p. Thèse (Doctorat em Génie Mécanique) – Institut Supérieur des Materiaux et de la Construction Mécanique, Saint-Ouen, France, 1984.

BUCUR, Voichita. **Acoustics of wood.**

BUTTERFIELD, B.; CHAPMAN, K.; CHRISTIEL, L.; DICKSON, A. **Ultrastuctural characteristics of failure surfaces in medium density fiberboard.** Forest Products Journal; v.42, n.5, p.55-60. 1992.

CARLO, Eduardo de; POLITO, Wagner L. **“Desenvolvimento e caracterização de um poliuretano monocomponente baseado em óleo vegetal curado ao ar”.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo; p.282. São Carlos; São Paulo; 2002.

CHOW, P.; ZHAO, L. **Medium density fiberboard made from phenol resin and wood residues of Mixed Species.** Forest Products Journal; v. 42, n.10, p.65-67.1992.

PLEPIS, A. M. G. **Caracterização térmica e viscoelétrica de resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona.** Tese de Doutorado. Instituto de Física e Química. São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos; São Paulo; 1991.

ELEOTÉRIO JR., Jackson R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo; 2000.

EUROMDFBOARD. **MDF - Medium density fiberboard definition**. Test Methods and Requirements. Industry Standard. Part I: Generalities. **EMB/IS – 1:1995**.

EUROMDFBOARD. **MDF - Medium density fiberboard definitions**. Test Methods and Requirements. Industry Standard. Part II: Requirements for General Purpose Boards. **EMB/IS - 2:1995**.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319 – Particleboard and Fiberboard – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board**. Bruxelas; 1993

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319 – Particleboard and Fiberboards – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Bruxelas; 1993

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319 – Particleboard and Fiberboard – Determination of swelling in thickness after immersion in water**. Bruxelas; 1993

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319 – Particleboard and Fiberboard – Determination of density**. Bruxelas; 1993.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory; p. 463; (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113). Madson; 1999.

GONÇALVES, Raquel; BARTHOLOMEU, André. Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande (PB), v.4, n.2, p.269-274, 2000.

HERZING, L. **Evaluation du module d'Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage**. 209p., M.Sc. Thesis (Génie Forestière), Faculté de Foresterie et de Géomatique, Departament des sciences du bois et la forêt, Univerité Laval, Québec, Canada, 1992.

KRONKA, F. J. N.; MATSUKUMA, C. K.; NALON, M. A.; DEL CALI, I. H.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; SHIN-IKE, M. S.; PONTINHAS, A. A. S. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo. In: Congresso Florestal Panamericano - Congresso Florestal Brasileiro.** Curitiba. Anais; 1993.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing.** Updated Edition. San Francisco: Miller Freeman Inc; p 681. 1993

MINITAB (2002). “**Statistical and graphical analysis software package**” www.minitab.com, V13, United States.

OLIVEIRA, Fabiana Goia Rosa de. **Caracterização de propriedades físicas de dicotiledôneas por meio de técnicas de ultra-som.** 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP), 2001.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology.** Marcel Dekker, p. 297. New York, 1994

REVISTA DA MADEIRA. **Painéis MDF.** Publicação da Associação brasileira dos produtos da madeira e derivados. Ano 9, n. 51, p. 24 a 31. Curitiba; 2000.

REVISTA DA MEIRA. **Valor agregado impulsiona mercado externo.** Publicação da Associação brasileira da madeira e derivados. Ano 12; n. 67; p. 10 a 14. Curitiba; 2002.

ROSS, Robert J.; PELLERIN, Roy F. **Nondestructive testing for assessing wood memberes in structures: A review.** Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70. Madison, WI:U.S. Departament of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 40p., May 1994.

SUNDS DEFIBRATOR. **Novedades de la industria del MDF.** Diretório mundial de fabricas. 1993.

VILAR, Walter D. **Química e tecnologia das poliuretanas.** Capítulo I; p. 60. Capítulo VII; p. 58. Capítulo VIII; p.30. Vilar Consultoria; 3^a Edição atualizada, p.360. Rio de Janeiro; 2002.

Tabela A1.1 – Classificação das chapas MDF em função da densidade

CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL	DENSIDADES (g/cm³)
Baixa densidade	< 0,59
Média densidade	0,59 a 0,80
Alta densidade	> 0,80

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.2 – Classificação das chapas MDF em função das condições de uso

CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÕES DE USO
Ambiente interno	Adequada para temperaturas de até 20 ⁰ C e umidade relativa do ar excedendo 65% por apenas poucas semanas no ano
Ambiente interno	Adequada para temperaturas de até 20 ⁰ C e umidade relativa do ar excedendo 85% por apenas poucas semanas no ano
Ambiente externo	Adequada para exposição a agentes atmosféricos, água ou vapor d'água e em locais úmidos, porém ventilados.

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.3 - Aplicações das chapas MDF.

CÓDIGO	CLASSIFICAÇÃO	APLICAÇÕES
MDF	Seco	Geral
MDF- H	Úmido	Geral
MDF- E	Exterior	Geral
MDF- LA	Seco	Resistente aplicando carga durante o uso
MDF- H.L.S.	Úmido	Resistente aplicando carga em curto espaço de tempo

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.4 – Acabamento superficial das chapas MDF

OPERAÇÕES	MDF	AGLOMERADO	CHAPA DURA	COMPENSADO
Acabamento de borda	Bom	Regular	Excelente	Regular
Acabamento com pintura	Bom	Regular	Excelente	Regular
Revestimento plano	Excelente	Mediano	Bom	Mediano
Revestimento trabalhado	Excelente	Regular	Espessura limitante	regular
Corte	Excelente	Mediano	Bom	Ruim
Usinagem de borda	Excelente	Mediano	Bom	Mediano
Usinagem de superfície	Excelente	Regular	Espessura limitante	Mediano
Preparação de superfície	Excelente	Mediano	Excelente	Mediano
Curvagem (fino)	Bom	Regular	Excelente	Bom
Torneamento	Excelente	Regular	Bom	Mediano
Furação	Bom	Bom	Bom	Bom

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.5 – Propriedades e métodos de ensaios das chapas MDF

PROPRIEDADES	MÉTODO	ESPESSURA NOMINAL (mm)	
		≤ 19	> 19
Espessura	EN324-1	± 0,30	-
Comprimento e largura	EN324-1	+ 0,20 a ± 5,0	-
Esquadro	EN324-2	± 2,0	-
Retidão de cantos	EN324-2	± 1,5	-
Tolerância na densidade	EN323	± 7,0	-
Umidade	EN323	4,0 a 11,0	-
Emissão de formaldeído classe A	EN120	≤ 9,0	-
Emissão de formaldeído classe B	EN120	> 9,0	≤ 40,0

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.6 – Propriedades e métodos de ensaios para MDF utilizados em ambientes internos sob condições de umidade.

PROPRIEDADES	MÉTODO	ESPESSURA NOMINAL (mm)								
		1,8 a 2,5	>2,5 a 4,0	>4,0 a 6,0	>6,0 a 9,0	>9,0 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30 a 45	>45
Inchamento após 24 h (%)	EN317	35	30	18	12	10	8,0	7,0	7,0	6,0
Módulo de Resistencia Tração Perpendicular (MPa)	EN319	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,60
Módulo de Resistencia à Flexão (MPa)	EN310	27	27	27	27	26	24	22	17	15
Módulo Elasticidade (MPa)	EN310	2700	2700	2700	2700	2500	2400	2300	2200	2000
Inchamento com ciclos de umidade (%)	EN317 EN321	50	40	25	19	16	15	15	15	15
Módulo de Resistencia à Tração Perpendicular com ciclos de umidade MPa)	EN319 EN312	0,35	0,35	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10
Módulo de Resistência à Tração Superficial com ciclos de umidade (MPa)	EN319 EN1087	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,12	0,12	0,10	0,10

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.7 – Propriedades e métodos de ensaios para MDF utilizados em ambientes internos sob condições secas de uso

PROPRIEDADE	MÉTODO	ESPESSURA NOMINAL (mm)								
		1,8 a 2,5	>2,5 a 4,0	>4,0 a 6,0	>6,0 a 9,0	>9,0 a 12,0	>12,0 a 19,0	>19,0 a 30,0	>30,0 a 45,0	>45
Inchamento após 24h (%)	EN317	45,0	35,0	30	17	15	12	10	8	6
Módulo de Resistencia à Tração Perpendicular (MPa)	EN319	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50
Módulo de Resistencia à Flexão (MPa)	EN310	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0	20,0	18,0	17,0	15,0
Módulo de Elasticidade (MPa)	EN310	-	-	2700	2700	2500	2200	2100	1900	1700

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A1.8 – Propriedades e métodos de ensaios para MDF utilizados em ambientes externos sujeitos a intempéries.

PROPRIEDADES	MÉTODO	ESPESSURA NOMINAL (mm)								
		1,8 a 2,5	>2,5 a 4,0	>4,0 a 6,0	>6,0 a 9,0	>9,0 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30 a 45	>45
Inchamento após 24h (%)	EN317	35	30	18	12	10	8	7	7	6
Módulo de Resistencia à Tração Perpendicular (MPa)	EN319	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,60
Módulo de Resistencia à Flexão (MPa)	EN310	34	34	34	34	32	30	28	21	19
Módulo de Resistencia à Flexão (MPa)	EN310	3000	3000	3000	3000	2800	2700	2600	2400	2200
Inchamento com ciclos de umidade (%)	EN317 EN321	50	40	25	19	16	15	15	15	15
Módulo de Resistência à Tração Perpendicular com ciclos de umidade (MPa)	EN319 EN312	0,35	0,35	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10
Módulo de Resistência à Tração Superficial com ciclo de umidade (MPa)	EN319 EN1087	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,12	0,12	0,10	0,10

Fonte: Euro MDF Board.

Tabela A2.1 – Isocianatos comerciais e suas características

NOME CIENTÍFICO	FÓRMULA	ESTRUTURA	PÊSO MOLECULAR	FUSÃO (°C)	EBULIÇÃO (°C)	DENSIDADE Kg/m³	TOXIDADE
2,4-tolueno diisocianato (TDI)/2,4-diisocianato de 1-metil-benzeno	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂		174,2	21,8	121 (10mmHg)	1,061 (20°C)	Tóxico
2,6-tolueno diisocianato (TDI)/2,6-diisocianato de 1-metil-benzeno	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂		174,2	18,2	120 (10mmHg)	1,227 (20°C)	Tóxico
Tolueno diisocianato mistura 2,4:2,6=65:35 (TDI-65/35)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂		174,2	5,0	121 (10mmHg)	1,222 (20°C)	Tóxico
Tolueno diisocianato mistura 2,4:2,6=80:20 (TDI-80/20)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂		174,2	13,6	121 (10mmHg)	1,221 (20°C)	Tóxico
4,4'-difenil metano diisocianato(MDI)/1,1'-metileno bis (4-isocianato benzeno)	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂		250,3	39,5	208 (10mmHg)	1,183 (50°C)	Nocivo
2,4'-difenil metano diisocianato(MDI)/1-isocianato-2-(4-isocianato fenil) metilbenzeno	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂		250,3	34,5	154 (1,3mmHg)	1,192 (40°C)	Nocivo
2,2'-difenil metano diisocianato (MDI)/1,1'-metileno bis (2-isocianato benzeno)	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂		250,3	46,5	145 (1,3mmHg)	1,188 (50°C)	Nocivo
Hexametilen diisocianato (HDI)/1,6-diisocianato hexano	C ₈ H ₁₂ O ₂ N ₂	OCN-(CH ₂) ₆ -NCO	168,2	-67	127 (10mmHg)	1,047 (20°C)	Tóxico
Isoforona diisocianato (IPDI)/5-isocianato-1-(metilisocianato)-1,3,3'-trimetil ciclohexano	C ₁₂ H ₁₈ O ₂ N ₂		222,3	-60	158 (10mmHg)	1,061 (20°C)	Tóxico
Meta-tetrametilxileno diisocianato (TMXDI)/bis (isocianato-1-metil- 1-etil)-1,3-benzeno	C ₁₄ H ₁₆ N ₂ O ₂		244,3	-	150 (50mmHg)	1,05 (20°C)	Nocivo
4,4'-d ciclohexilmetano diisocianato (HMDI)/1,1'-metileno-bis(4-isocianato ciclohexano)	C ₁₅ H ₂₂ O ₂ N ₂		262,3	19-23	179 (10mmHg)	-	Tóxico
Naftaleno 1,5-diisocianato(NDI)/1,5 diisocianatonaftaleno	C ₁₂ H ₆ O ₂ N ₂		210,2	127	13 (10mmHg)	1,450 (20°C)	Nocivo
1,4-fenilenodiisocianato (PDI)/pfenilenodiisociano	C ₈ H ₄ O ₂ N ₂		160,1	96	11 (12mmHg)	1,441 (20°C)	Tóxico
Trifenilmetano-4,4',4''-triisocianato/1,1',1''-metilenotris (4 isocianato benzeno)	C ₂₂ H ₁₃ O ₃ N ₃		367,4	91	-	-	Nocivo

Fonte : VILAR (2002)

Tabela A3.1- Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção y).

		A		B		C		D		E		F		G	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	2000	1680	2083	1823	2093	1840	2101	1854	2102	1856	2103	1858	2007	1691
	CH2	2026	2134	2105	2305	2135	2370	2123	2344	2116	2327	2084	2258	2007	2094
	CH3	1992	2051	2081	2240	2113	2308	2113	2308	2110	2303	2081	2240	2027	2124
C2	CH1	2154	3089	2218	3277	2263	3411	2267	3423	2255	3386	2248	3365	2180	3166
	CH2	2149	3056	2217	3253	2257	3374	2264	3394	2284	3453	2237	3313	2187	3166
	CH3	2151	3087	2216	3274	2249	3374	2251	3379	2247	3366	2222	3294	2178	3163
C3	CH1	2193	3309	2301	3643	2345	3782	2361	3836	2358	3826	2321	3707	2255	3498
	CH2	2216	3387	2301	3653	2355	3827	2367	3867	2360	3842	2320	3713	2253	3504
	CH3	2213	3374	2271	3555	2337	3764	2337	3764	2340	3774	2301	3648	2244	3469
C4	CH1	1850	1800	1924	1947	1969	2040	1985	2073	1999	2102	1965	2031	1915	1929
	CH2	1896	1970	1974	2136	2022	2240	2034	2268	2057	2319	2031	2260	1983	2154
	CH3	1992	2164	2042	2273	2091	2383	2111	2429	2109	2424	2064	2322	2020	2223
C5	CH1	2215	3866	2315	4223	2371	4432	2410	4578	2415	4595	2393	4512	2353	4364
	CH2	2291	4050	2361	4303	2405	4467	2410	4485	2398	4438	2365	4319	2305	4101
	CH3	2278	4068	2370	4403	2407	4542	2398	4507	2388	4472	2353	4342	2293	4123
C6	CH1	2074	3239	2176	3567	2234	3759	2249	3809	2256	3833	2213	3687	2130	3417
	CH2	2139	3693	2262	4131	2334	4396	2355	4475	2353	4469	2309	4303	2385	4591
	CH3	2131	3498	2238	3858	2301	4077	2320	4144	2327	4170	2305	4092	2237	3853
C7	CH1	2061	2726	2120	2886	2167	3016	2166	3012	2184	3064	2156	2983	2121	2889
	CH2	2086	2820	2147	2986	2205	3152	2196	3125	2207	3155	2184	3091	2142	2972
	CH3	2121	2970	2196	3184	2224	3263	2229	3279	2225	3267	2186	3153	2120	2967
C8	CH1	1987	2393	2039	2518	2090	2648	2093	2654	2095	2660	2083	2630	2039	2518
	CH2	2008	2463	2083	2652	2113	2728	2123	2753	2129	2769	2115	2734	2065	2605
	CH3	1998	2395	2072	2575	2114	2682	2129	2719	2115	2685	2094	2631	2044	2507

Tabela A3.2 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção x).

→  ←		G		H		I		J		K		L		M	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	2000	1680	2070	1799	2097	1847	2100	1851	2093	1840	2043	1753	1971	1631
	CH2	1999	2078	2089	2269	2130	2359	2157	2420	2147	2397	2096	2285	2033	2149
	CH3	1945	1956	2042	2156	2096	2272	2132	2351	2114	2311	2089	2256	2027	2124
C2	CH1	2134	3032	2237	3333	2294	3504	2301	3526	2298	3517	2290	3491	2237	3333
	CH2	2146	3049	2244	3333	2311	3536	2337	3617	2323	3571	2290	3470	2228	3285
	CH3	2145	3069	2248	3370	2292	3505	2318	3585	2300	3527	2266	3424	2237	3338
C3	CH1	2160	3210	2267	3536	2340	3768	2361	3836	2366	3851	2330	3735	2264	3528
	CH2	2182	3284	2283	3595	2342	3784	2376	3897	2367	3867	2324	3727	2255	3508
	CH3	2165	3230	2270	3550	2331	3745	2355	3822	2351	3807	2311	3680	2247	3477
C4	CH1	1827	1756	1905	1909	1969	2040	1995	2093	1987	2077	1963	2027	1920	1939
	CH2	1823	1821	1964	2113	2011	2216	2063	2332	2064	2334	2039	2278	1982	2152
	CH3	1891	1949	1984	2145	2055	2301	2080	2359	2111	2429	2084	2367	2040	2268
C5	CH1	2337	4303	2405	4560	2455	4750	2440	4693	2405	4560	2356	4375	2260	4024
	CH2	2215	3787	2324	4168	2371	4342	2415	4502	2421	4526	2410	4485	2378	4364
	CH3	2231	3902	2338	4287	2393	4490	2405	4536	2407	4542	2391	4484	2332	4265
C6	CH1	2120	3385	2214	3692	2262	3852	2270	3880	2262	3852	2204	3657	2134	3428
	CH2	2127	3650	2245	4066	2309	4303	2334	4396	2352	4464	2325	4363	2250	4085
	CH3	2093	3372	2218	3789	2297	4062	2336	4201	2346	4239	2310	4107	2244	3877
C7	CH1	2135	2927	2186	3067	2221	3166	2210	3135	2210	3135	2195	3094	2161	2998
	CH2	2127	2930	2204	3148	2257	3302	2274	3352	2259	3306	2250	3282	2212	3171
	CH3	2152	3056	2230	3284	2276	3418	2297	3483	2277	3422	2249	3337	2203	3204
C8	CH1	1937	2274	2031	2499	2090	2648	2124	2734	2129	2746	2117	2715	2064	2581
	CH2	1987	2413	2054	2579	2102	2700	2129	2769	2131	2776	2113	2728	2068	2614
	CH3	1969	2326	2045	2510	2103	2655	2129	2719	2123	2704	2092	2625	2065	2558

Tabela A3.3 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidade de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção y).

		A		B		C		D		E		F		G	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	1403	1023	1452	1096	1651	1418	1847	1774	1477	1135	1830	1742	1416	1043
	CH2	1612	1351	1863	1805	1886	1849	1881	1840	1873	1824	1838	1757	1451	1094
	CH3	1491	1150	1812	1697	1846	1762	1855	1780	1866	1800	1840	1751	1443	1077
C2	CH1	1750	2040	1987	2629	2027	2736	1992	2643	1993	2646	1992	2643	1940	2508
	CH2	1787	2113	1976	2586	2012	2680	2004	2659	2005	2662	1970	2569	1806	2160
	CH3	1863	2316	1979	2612	1980	2615	1997	2661	1996	2657	1958	2558	1932	2489
C3	CH1	1836	2319	2285	3592	2028	2831	2389	3925	2394	3944	2340	3768	2261	3516
	CH2	1855	2375	2317	3703	2048	2893	2327	3738	2317	3703	2313	3692	1932	2575
	CH3	1842	2337	2294	3624	2390	3937	2342	3779	2266	3537	2318	3703	1922	2545
C4	CH1	1618	1377	1718	1553	1789	1683	1762	1632	1671	1469	1741	1595	1690	1503
	CH2	1693	1571	1756	1691	1814	1803	1834	1843	1852	1879	1814	1803	1774	1725
	CH3	1734	1639	1815	1795	1837	1839	1834	1833	1842	1848	1802	1769	1752	1674
C5	CH1	2266	4046	2377	4453	2481	4852	2461	4773	2459	4765	2479	4844	2394	4517
	CH2	2317	4143	2402	4454	2465	4691	2475	4730	2457	4660	2390	4411	2335	4208
	CH3	2261	4007	2425	4611	2455	4725	2441	4671	2421	4596	2355	4347	2285	4093
C6	CH1	2096	3309	2269	3878	2315	4035	2294	3961	2308	4010	2264	3860	2154	3492
	CH2	2165	3781	2338	4412	2408	4678	2396	4633	2398	4641	2340	4419	2266	4143
	CH3	2126	3481	2268	3959	2297	4063	2338	4210	2326	4164	2317	4132	2235	3848
C7	CH1	1657	1764	1787	2050	1813	2110	1834	2159	1842	2177	1806	2094	1748	1962
	CH2	1674	1816	1802	2104	1799	2096	1883	2298	1867	2258	1829	2168	1740	1962
	CH3	1744	2008	1851	2261	1868	2303	1884	2344	1823	2192	1808	2158	1726	1966
C8	CH1	1771	1901	1823	2013	2092	2652	2111	2701	2098	2667	1874	2128	1797	1958
	CH2	1776	1928	1837	2062	2060	2594	2105	2708	1853	2098	1853	2098	1844	2077
	CH3	1735	1806	1790	1922	1840	2032	2088	2615	2049	2519	1843	2037	1797	1939

Tabela A3.4 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidade de propagação das ondas de superfície (m/s) – transdutores de faces planas (direção x).

↓ ↓ 		G		H		I		J		K		L		M	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	1359	961	1834	1749	1845	1770	1855	1790	1840	1761	1799	1682	1521	1202
	CH2	1574	1288	1846	1772	1905	1887	1917	1911	1899	1875	1876	1830	1414	1039
	CH3	1370	971	1780	1639	1863	1795	1883	1834	1879	1824	1850	1769	1419	1041
C2	CH1	1842	2259	1978	2605	1995	2650	1995	2650	2297	3514	2011	2693	1947	2524
	CH2	1840	2242	1965	2555	2281	3445	2033	2735	2331	3597	1982	2599	1923	2448
	CH3	1817	2202	1947	2528	1988	2636	2278	3461	1992	2647	1992	2647	1916	2448
C3	CH1	1830	2305	2329	3732	2398	3957	2414	4008	2404	3976	2377	3888	1962	2649
	CH2	1802	2240	2311	3686	2377	3899	2406	3994	2404	3987	2340	3778	1929	2568
	CH3	1843	2340	2252	3495	2262	3527	2410	4001	2357	3827	2318	3703	2195	3318
C4	CH1	1605	1355	1704	1527	1758	1627	1767	1642	1778	1663	1758	1627	1703	1525
	CH2	1610	1421	1755	1689	1809	1794	1856	1889	1853	1882	1827	1829	1741	1661
	CH3	1622	1433	1773	1713	1828	1821	1844	1853	1876	1918	1868	1902	1809	1784
C5	CH1	1965	3042	2510	4966	2532	5050	2536	5068	2483	4860	2423	4627	2259	4021
	CH2	1823	2564	2357	4287	2447	4623	2523	4915	2496	4809	2551	5024	2402	4454
	CH3	1794	2524	2355	4347	2481	4827	2496	4884	2394	4494	2410	4552	2206	3815
C6	CH1	2110	3351	2252	3820	2311	4022	2320	4054	2315	4035	2251	3814	2116	3370
	CH2	2096	3547	2283	4207	2346	4440	2389	4604	2394	4626	2351	4461	2208	3933
	CH3	2017	3134	2268	3959	2326	4164	2389	4393	2394	4414	2389	4393	2172	3634
C7	CH1	1690	1834	1802	2084	1845	2185	1836	2164	1850	2196	1853	2204	1669	1787
	CH2	1672	1812	1845	2206	1882	2295	1852	2222	1883	2298	1852	2222	1806	2114
	CH3	1684	1871	1832	2214	1842	2238	1825	2198	1830	2211	1801	2140	1754	2031
C8	CH1	1636	1621	1799	1960	2051	2548	2117	2716	1888	2160	2098	2667	1795	1953
	CH2	1722	1812	1794	1967	1844	2077	2102	2700	1871	2140	1859	2111	1794	1967
	CH3	1692	1718	1795	1934	1823	1993	1867	2091	1879	2117	1843	2037	1766	1871

Tabela A3.5 – Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - condição experimental 1.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	403	472	501	493	494	480	380	403	472	501	493	494	480	380
	482	613	621	645	574	578	483	482	613	621	645	574	578	483
	482	628	617	662	640	630	476	482	628	617	662	640	630	476
	505	707	676	667	644	607	478	505	707	676	667	644	607	478
	482	636	658	690	644	585	463	482	636	658	690	644	585	463
	468	595	598	575	584	589	431	468	595	598	575	584	589	431
	392	420	457	439	448	434	370	392	420	457	439	448	434	370
CHAPA 2	428	492	497	459	422	482	366	428	492	497	459	422	482	366
	443	606	694	654	648	624	415	443	606	694	654	648	624	415
	509	730	730	668	690	667	441	509	730	730	668	690	667	441
	537	679	790	787	671	686	490	537	679	790	787	671	686	490
	549	714	765	800	657	727	465	549	714	765	800	657	727	465
	473	669	689	590	680	576	476	473	669	689	590	680	576	476
	405	473	461	470	474	433	382	405	473	461	470	474	433	382
CHAPA 3	340	402	453	411	450	421	370	340	402	453	411	450	421	370
	424	601	629	627	661	643	472	424	601	629	627	661	643	472
	467	675	682	709	684	685	463	467	675	682	709	684	685	463
	534	684	739	802	719	690	470	534	684	739	802	719	690	470
	518	746	701	689	730	648	454	518	746	701	689	730	648	454
	476	661	733	661	665	661	452	476	661	733	661	665	661	452
	420	465	460	491	525	467	358	420	465	460	491	525	467	358

Tabela A3.6 – Constante dinâmica (MPa) e velocidade de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - condição experimental 2.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	615	638	666	691	666	649	599	615	638	666	691	666	649	599
	713	834	804	835	799	739	725	713	834	804	835	799	739	725
	740	834	854	889	896	858	784	740	834	854	889	896	858	784
	740	921	919	980	905	866	736	740	921	919	980	905	866	736
	683	879	928	906	872	874	736	683	879	928	906	872	874	736
	679	820	946	835	888	850	725	679	820	946	835	888	850	725
	674	739	754	768	527	734	638	674	739	754	768	527	734	638
CHAPA 2	692	663	723	704	646	653	639	692	663	723	704	646	653	639
	692	814	845	841	811	769	639	692	814	845	841	811	769	639
	744	836	860	880	904	794	716	744	836	860	880	904	794	716
	692	874	901	960	940	899	762	692	874	901	960	940	899	762
	717	890	910	913	879	953	756	717	890	910	913	879	953	756
	673	843	901	848	879	866	705	673	843	901	848	879	866	705
	656	728	746	699	724	648	666	656	728	746	699	724	648	666
CHAPA 3	620	608	679	686	607	663	551	620	608	679	686	607	663	551
	640	729	789	825	791	745	664	640	729	789	825	791	745	664
	675	723	883	885	846	872	729	675	723	883	885	846	872	729
	724	796	883	964	946	905	764	724	796	883	964	946	905	764
	704	789	891	885	839	872	708	704	789	891	885	839	872	708
	689	783	875	818	902	787	698	689	783	875	818	902	787	698
	628	687	741	681	726	707	622	628	687	741	681	726	707	622

Tabela A3.7 – Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - condição experimental 3.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	727	842	849	858	849	843	787	727	842	849	858	849	843	787
	872	907	981	1005	1015	975	875	872	907	981	1005	1015	975	875
	872	1014	1149	1063	1074	996	918	872	1014	1149	1063	1074	996	918
	896	1072	1192	1154	1112	1017	945	896	1072	1192	1154	1112	1017	945
	872	1060	1083	1127	1125	1076	965	872	1060	1083	1127	1125	1076	965
	806	953	1095	1051	1049	1029	891	806	953	1095	1051	1049	1029	891
	749	850	933	935	963	918	814	749	850	933	935	963	918	814
CHAPA 2	740	835	870	801	928	860	757	740	835	870	801	928	860	757
	795	925	1033	1018	997	966	886	795	925	1033	1018	997	966	886
	875	1036	1093	1077	1053	1008	921	875	1036	1093	1077	1053	1008	921
	943	1025	1106	1171	1143	1090	948	943	1025	1106	1171	1143	1090	948
	899	1036	1068	1090	1129	1018	930	899	1036	1068	1090	1129	1018	930
	837	934	1022	976	1053	997	894	837	934	1022	976	1053	997	894
	782	881	922	946	876	928	789	782	881	922	946	876	928	789
CHAPA 3	740	819	831	843	815	856	744	740	819	831	843	815	856	744
	815	971	978	955	966	933	830	815	971	978	955	966	933	830
	899	992	1021	1064	1053	1048	885	899	992	1021	1064	1053	1048	885
	867	1035	1105	1101	1171	1025	920	867	1035	1105	1101	1171	1025	920
	844	1013	1055	1052	1065	993	902	844	1013	1055	1052	1065	993	902
	908	981	1021	996	1008	993	893	908	981	1021	996	1008	993	893
	808	826	886	891	876	856	782	808	826	886	891	876	856	782

Tabela A3.8 – Constante dinâmica e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - Condição Experimental 4.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	445	461	496	534	519	500	464	445	461	496	534	519	500	464
	451	530	546	583	561	545	529	451	530	546	583	561	545	529
	491	589	581	621	625	584	514	491	589	581	621	625	584	514
	512	600	615	670	658	683	548	512	600	615	670	658	683	548
	497	581	650	627	648	598	485	497	581	650	627	648	598	485
	451	565	631	633	658	584	553	451	565	631	633	658	584	553
	429	503	536	529	595	584	538	429	503	536	529	595	584	538
CHAPA 2	408	467	464	509	525	467	436	408	467	464	509	525	467	436
	459	566	593	607	616	610	516	459	566	593	607	616	610	516
	529	608	646	667	663	652	481	529	608	646	667	663	652	481
	536	624	660	740	732	718	598	536	624	660	740	732	718	598
	534	643	702	678	678	681	690	534	643	702	678	678	681	690
	548	611	656	649	694	678	595	548	611	656	649	694	678	595
	480	546	599	622	656	622	586	480	546	599	622	656	622	586
CHAPA 3	451	499	518	518	542	517	470	451	499	518	518	542	517	470
	499	571	628	616	613	607	519	499	571	628	616	613	607	519
	554	656	666	696	673	644	587	554	656	666	696	673	644	587
	581	691	723	765	697	673	578	581	691	723	765	697	673	578
	617	724	723	785	736	701	598	617	724	723	785	736	701	598
	611	729	728	750	732	723	584	611	729	728	750	732	723	584
	557	609	655	636	662	651	572	557	609	655	636	662	651	572

Tabela A3.9 – Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - condição experimental 5.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	771	913	911	935	904	910	959	771	913	911	935	904	910	959
	815	966	1077	1040	1081	1119	982	815	966	1077	1040	1081	1119	982
	883	1052	1184	1172	1189	1104	1031	883	1052	1184	1172	1189	1104	1031
	831	934	1049	1140	1206	1104	1031	831	934	1049	1140	1206	1104	1031
	800	978	964	1189	1140	1075	982	800	978	964	1189	1140	1075	982
	764	913	975	1040	1109	1075	938	764	913	975	1040	1109	1075	938
	663	755	855	792	858	881	833	663	755	855	792	858	881	833
CHAPA 2	622	792	786	752	746	721	697	622	792	786	752	746	721	697
	768	913	915	918	950	911	820	768	913	915	918	950	911	820
	811	903	1041	1044	984	964	836	811	903	1041	1044	984	964	836
	861	1050	1054	1031	1161	999	889	861	1050	1054	1031	1161	999	889
	852	1120	1111	1099	1045	1023	889	852	1120	1111	1099	1045	1023	889
	878	1024	1126	1057	1100	964	880	878	1024	1126	1057	1100	964	880
	861	955	947	982	984	942	862	861	955	947	982	984	942	862
CHAPA 3	797	804	804	831	821	842	721	797	804	804	831	821	842	721
	880	984	984	1011	987	973	822	880	984	984	1011	987	973	822
	889	1032	1058	1104	1077	996	856	889	1032	1058	1104	1077	996	856
	909	1058	1100	1199	1077	1021	856	909	1058	1100	1199	1077	1021	856
	889	1058	1086	1119	987	1021	874	889	1058	1086	1119	987	1021	874
	862	961	1100	987	1023	928	865	862	961	1100	987	1023	928	865
	775	961	950	865	882	869	790	775	961	950	865	882	869	790

Tabela A3.10 – Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - condição experimental 6.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	801	917	912	999	965	948	904	801	917	912	999	965	948	904
	867	1103	1178	1061	1132	1096	978	867	1103	1178	1061	1132	1096	978
	904	1111	1047	1213	1147	1042	978	904	1111	1047	1213	1147	1042	978
	967	1125	1073	1103	1196	1029	1026	967	1125	1073	1103	1196	1029	1026
	801	1096	1162	1196	1147	1055	945	801	1096	1162	1196	1147	1055	945
	849	993	1047	1103	1132	1111	1026	849	993	1047	1103	1132	1111	1026
	809	908	964	999	1011	948	833	809	908	964	999	1011	948	833
CHAPA 2	751	1043	989	1015	863	887	801	751	1043	989	1015	863	887	801
	946	1147	1113	1197	1168	1111	959	946	1147	1113	1197	1168	1111	959
	993	1181	1252	1253	1281	1195	1050	993	1181	1252	1253	1281	1195	1050
	935	1164	1196	1337	1260	1160	1126	935	1164	1196	1337	1260	1160	1126
	980	1199	1252	1197	1302	1252	1050	980	1199	1252	1197	1302	1252	1050
	924	1181	1252	1253	1203	1233	1079	924	1181	1252	1253	1203	1233	1079
	804	902	1068	1084	1151	1038	883	804	902	1068	1084	1151	1038	883
CHAPA 3	696	868	960	880	920	847	764	696	868	960	880	920	847	764
	902	1053	1139	1144	1143	1047	1006	902	1053	1139	1144	1143	1047	1006
	923	1145	1208	1196	1212	1206	1120	923	1145	1208	1196	1212	1206	1120
	1031	1234	1307	1196	1212	1206	1046	1031	1234	1307	1196	1212	1206	1046
	968	1097	1190	1214	1212	1188	1089	968	1097	1190	1214	1212	1188	1089
	993	1179	1245	1196	1212	1284	1136	993	1179	1245	1196	1212	1284	1136
	902	1026	1077	1144	1127	1121	994	902	1026	1077	1144	1127	1121	994

Tabela A3.11 – Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) – condição experimental 7.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	604	701	712	720	688	702	707	446	701	712	720	688	702	707
	663	726	763	806	715	721	683	487	726	763	806	715	721	683
	682	707	800	775	813	792	750	552	707	800	775	813	792	750
	674	743	793	814	793	758	716	560	743	793	814	793	758	716
	700	720	785	818	789	796	746	574	720	785	818	789	796	746
	625	726	738	794	748	721	686	533	726	738	794	748	721	686
	613	664	682	716	745	717	648	531	664	682	716	745	717	648
CHAPA 2	587	631	661	671	656	636	616	489	631	661	671	656	636	616
	591	722	741	779	768	740	650	514	722	741	779	768	740	650
	697	769	799	821	798	767	698	493	769	799	821	798	767	698
	674	741	799	869	814	764	680	584	741	799	869	814	764	680
	700	769	799	798	761	757	689	539	769	799	798	761	757	689
	648	722	728	761	787	750	680	502	722	728	761	787	750	680
	661	659	713	779	683	659	635	516	659	713	779	683	659	635
CHAPA 3	606	664	708	699	696	623	635	467	664	708	699	696	623	635
	666	756	767	757	753	706	604	494	756	767	757	753	706	604
	615	819	812	817	855	788	669	542	819	812	817	855	788	669
	615	780	837	860	855	788	692	512	780	837	860	855	788	692
	693	799	833	838	789	769	683	542	799	833	838	789	769	683
	714	748	771	805	797	718	640	510	748	771	805	797	718	640
	682	683	736	705	737	725	640	534	683	736	705	737	725	640

Tabela A3.12 – Constante dinâmica (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) – transdutores de faces planas (direção z) - condição experimental 8.

	A		B		C		D		E		F		G	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CHAPA 1	446	499	547	522	525	522	480	446	499	547	522	525	522	480
	487	533	576	593	593	578	505	487	533	576	593	593	578	505
	552	568	640	603	623	611	527	552	568	640	603	623	611	527
	560	640	640	708	681	636	549	560	640	640	708	681	636	549
	574	640	684	634	699	703	622	574	640	684	634	699	703	622
	533	640	640	653	708	655	560	533	640	640	653	708	655	560
	531	554	582	616	623	587	563	531	554	582	616	623	587	563
CHAPA 2	489	529	539	537	549	546	529	489	529	539	537	549	546	529
	514	545	615	606	614	605	542	514	545	615	606	614	605	542
	493	547	636	631	628	605	562	493	547	636	631	628	605	562
	584	579	688	654	676	645	562	584	579	688	654	676	645	562
	539	595	663	719	676	678	607	539	595	663	719	676	678	607
	502	579	629	631	625	612	574	502	579	629	631	625	612	574
	516	531	671	610	651	555	587	516	531	671	610	651	555	587
CHAPA 3	467	495	559	564	563	528	500	467	495	559	564	563	528	500
	494	611	610	639	616	598	541	494	611	610	639	616	598	541
	542	611	636	659	675	693	593	542	611	636	659	675	693	593
	512	629	693	747	702	658	610	512	629	693	747	702	658	610
	542	652	684	737	702	658	576	542	652	684	737	702	658	576
	510	584	707	732	702	666	573	510	584	707	732	702	666	573
	534	551	639	632	623	638	599	534	551	639	632	623	638	599

Tabela A4.1 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção y).

→  ←		A		B		C		D		E		F	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	2234	3498	2284	3835	2289	3829	2272	3820	2222	3733	2155	3586
	CH2	2254	3852	2315	4223	2331	4150	2327	3879	2303	4003	2234	3802
	CH3	2186	3616	2259	3944	2303	4162	2275	4079	2275	4037	2199	3706
C3	CH1	2234	3598	2287	3924	2331	4052	2318	4041	2283	4142	2214	3812
	CH2	2337	4254	2379	4154	2381	4409	2315	4094	2275	4084	2181	3654
	CH3	2272	3898	2323	4246	2334	4286	2326	4176	2268	4031	2201	3483
C4	CH1	2179	3498	2199	3556	2183	3416	2179	3498	2149	3356	2064	3177
	CH2	2157	3442	2177	3413	2205	3010	2214	3479	2173	3466	2105	3364
	CH3	2179	3507	2222	3644	2211	3456	2204	3327	2154	3466	2075	3078
C6	CH1	2262	4021	2309	4206	2324	4284	2321	4025	2290	4049	2225	3852
	CH2	2234	4032	2298	3908	2318	4154	2272	3991	2234	3997	2164	3628
	CH3	2183	3816	2266	4052	2289	4138	2303	4130	2315	4153	2234	3867

Tabela A4.2 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces exponenciais (direção x).

→  ←		F		G		H		I		J		K	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	2188	3357	2259	3750	2268	3759	2303	3923	2266	3882	2227	3827
	CH2	2234	3782	2286	4117	2324	4127	2339	3916	2315	4046	2259	3888
	CH3	2186	3616	2262	3954	2281	4085	2286	4117	2278	4048	2212	3749
C3	CH1	2183	3435	2268	3857	2303	3955	2324	4063	2318	4272	2278	4038
	CH2	2186	3721	2266	3769	2332	4232	2359	4253	2359	4392	2318	4127
	CH3	2165	3538	2263	4031	2326	4258	2368	4327	2361	4370	2303	3812
C4	CH1	2105	3266	2181	3497	2199	3469	2219	3630	2199	3517	2162	3488
	CH2	2121	3328	2199	3483	2227	3069	2228	3524	2222	3625	2179	3602
	CH3	2130	3353	2199	3570	2225	3500	2227	3396	2222	3689	2176	3385
C6	CH1	2209	3837	2286	4122	2304	4210	2318	4014	2323	4165	2274	4022
	CH2	2181	3845	2283	3856	2318	4154	2309	4120	2272	4135	2186	3702
	CH3	2260	4092	2307	4200	2318	4245	2303	4130	2259	3954	2164	3628

Tabela A4.3 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção y).

		A		B		C		D		E		F	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	2402	4045	2423	4313	2824	5831	2776	5704	2428	4456	2256	3928
	CH2	2359	4220	2469	4806	2487	4727	2356	3975	2417	4412	2269	3923
	CH3	2358	4208	2406	4473	2855	6398	2414	4592	2445	4663	2332	4166
C3	CH1	2500	4506	2541	4843	2610	5084	2560	4925	2528	5079	2419	4550
	CH2	2563	5120	2673	5244	2646	5446	2638	5317	2573	5223	2421	4502
	CH3	2528	4822	2586	5267	2602	5330	2554	5035	2588	5253	2435	4260
C4	CH1	2765	5632	2737	5507	2709	5257	2761	5616	2704	5313	2561	4894
	CH2	2683	5328	2763	5499	2763	5319	2767	5434	2683	5281	2640	5292
	CH3	2774	5687	2734	5517	2767	5411	2732	5190	2692	5409	2550	4646
C6	CH1	2423	4614	2558	5166	2505	4978	2513	4717	2533	4954	2489	4823
	CH2	2455	4873	2554	4830	2565	5092	2511	4875	2459	4843	2376	4375
	CH3	2419	4686	2515	4986	2487	4889	2515	4924	2560	5076	2484	4783

Tabela A4.4 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de superfície (m/s) - transdutores de faces planas (direção x).

		F		G		H		I		J		K	
		VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
C1	CH1	2265	3795	2265	3770	2779	5644	2779	5714	2419	4424	2313	4132
	CH2	2254	3638	2320	4240	2765	5842	2767	5484	2329	4095	2277	3950
	CH3	2219	3881	2227	3832	2441	4679	2445	4710	2480	4798	2315	4105
C3	CH1	2268	3866	2447	4491	2493	4637	2552	4896	2550	5170	2248	3930
	CH2	2355	4236	2484	4528	2622	5347	2600	5165	2600	5334	2466	4672
	CH3	2318	4148	2478	4836	2505	4942	2560	5057	2575	5198	2478	4415
C4	CH1	2245	3715	2640	5125	2656	5056	2763	5625	2792	5664	2257	3801
	CH2	2248	3587	2770	5525	2790	5423	2792	5532	2792	5719	2253	3853
	CH3	2222	3433	2765	5641	2759	5376	2759	5291	2381	4231	2109	3178
C6	CH1	2358	4153	2509	4972	2539	5111	2535	4800	2546	5005	2401	4486
	CH2	2326	4183	2491	4595	2513	4886	2535	4969	2462	4857	2271	3997
	CH3	2436	4622	2528	5037	2511	4982	2588	5218	2524	4935	2417	4531

Tabela A4.5 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).

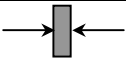
	A		B		C		D		E		F	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CH1	882	531	829	480	909	578	820	481	798	467	714	396
	898	571	955	673	926	634	920	634	898	617	758	452
	993	708	1007	779	1020	791	968	706	926	686	872	586
	877	536	882	572	926	621	932	643	926	622	777	454
CH2	909	607	915	636	920	629	926	592	862	548	758	432
	974	719	1020	825	1027	837	974	686	962	678	882	600
	938	675	1049	904	1042	837	1103	903	1000	766	938	652
	867	580	920	658	1000	748	962	656	909	647	862	582
CH3	794	467	872	579	888	597	877	602	852	543	773	457
	843	538	938	693	1000	769	955	711	1020	813	857	578
	852	561	993	732	993	793	962	750	968	744	920	667
	852	548	888	630	962	749	920	659	893	636	833	516

Tabela A4.6 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).

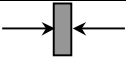
	A		B		C		D		E		F	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CH1	906	546	916	577	926	735	956	708	935	737	784	491
	989	688	1074	816	1088	904	1024	779	1024	872	888	630
	1012	779	1115	948	1115	954	1101	967	1074	821	946	699
	1024	790	1074	759	1115	872	1048	876	989	750	879	560
CH2	967	757	1012	712	1000	803	935	641	897	672	750	413
	1145	1002	1061	833	1036	785	1036	826	967	688	798	501
	1176	1012	1225	1168	1225	1173	1208	1072	1088	918	989	776
	1101	901	1048	868	1160	1091	1061	921	967	773	821	466
CH3	861	554	906	636	888	608	946	645	946	710	737	384
	926	705	1024	848	1088	972	1048	909	1012	724	837	514
	1115	1039	1208	1137	1261	1121	1299	1293	1101	890	1000	702
	1036	769	1176	1092	1208	1226	1088	885	1115	873	926	627

Tabela A4.7 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).

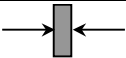
	A		B		C		D		E		F	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CH1	867	567	948	636	903	559	877	544	862	558	771	443
	887	582	908	610	960	661	930	651	872	569	807	480
	966	636	1011	752	1017	751	978	740	948	629	887	601
	972	728	1017	785	991	723	948	642	914	590	803	477
CH2	872	589	882	577	848	502	848	520	862	523	730	392
	925	613	925	616	936	599	930	637	898	599	812	509
	925	653	972	705	972	652	966	620	908	601	838	525
	898	567	972	636	948	642	930	618	903	620	834	544
CH3	848	534	882	544	930	629	882	538	877	553	730	402
	925	634	936	599	972	668	930	577	936	672	829	480
	942	674	1017	714	1017	753	972	647	892	602	812	479
	942	632	892	569	930	575	882	575	825	506	744	376

Tabela A4.8 - Constantes dinâmicas (MPa) e velocidades de propagação das ondas de compressão (m/s) - transdutores de faces planas (direção z).

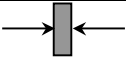
	A		B		C		D		E		F	
	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE	VEL	CTE
CH1	1027	843	1079	911	1052	883	1092	882	1065	884	1027	742
	1052	906	1136	961	1182	1143	1199	1135	1092	868	1136	1006
	1106	897	1215	1222	1215	1135	1182	1022	1182	1110	1106	985
	1015	820	1182	1124	1136	1017	1106	891	1106	965	1079	961
CH2	1027	843	1106	852	1027	795	1079	875	1027	818	918	679
	1027	860	1166	1095	1151	1005	1136	1001	1092	955	1015	774
	1092	985	1136	966	1151	1067	1136	1079	1136	1051	1079	901
	1040	858	1106	872	1079	904	992	716	948	732	899	623
CH3	981	769	1092	976	1151	1030	1136	1015	1182	1066	1079	869
	1136	1043	1136	963	1199	1171	1151	1066	1182	1119	1151	1047
	1040	861	1052	851	1106	993	1136	1003	1136	966	1065	909
	830	549	1015	846	928	652	948	670	1027	830	918	642

Tabela A5.1 - Análise estatística do módulo de resistência à flexão estática das chapas de *Pinus caribaea* com 8 e 15mm de espessura.

One-way ANOVA: Flexão Pinus caribaea versus Tratamento					
Analysis of Variance for Flexão Estática					
Source	DF	SS	MS	F	P
C2	5	138,4	27,7	2,04	0,101
Error	30	406,7	13,6		
Total	35	545,1			

Individual 95% CIs For Mean				
Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	
1	6	32,245	3,235	(-----*-----)
2	6	47,400	4,754	(-----*-----)
3	6	33,595	2,803	(-----*-----)
4	6	34,928	2,294	(-----*-----)
5	6	36,655	4,855	(-----*-----)
6	6	37,413	3,387	(-----*-----)

Pooled StDev	3,682	31,5	35,0	38,5
---------------------	--------------	-------------	-------------	-------------

Tukey's pairwise comparisons					
Family error rate = 0,0500					
Individual error rate = 0,00487					
Critical value = 4,30					
Intervals for (column level mean) - (row level mean)					
	1	2	3	4	5
2	-11,619 1,309				
3	-7,814 5,114	-2,659 10,269			
4	-9,147 3,780	-3,992 8,935	-7,797 5,130		
5	-10,874 2,054	-5,719 7,209	-9,524 3,404	-8,190 4,737	
6	-11,632 1,295	-6,477 6,450	-10,282 2,645	-8,949 3,979	-7,222 5,705

Tabela A5.2 - Análise estatística do módulo de resistência à flexão estática das chapas de *Eucalyptus grandis* com 8 e 15 mm de espessura.

One-way ANOVA: Flexão <i>Eucalyptus grandis</i> versus Tratamento					
Analysis of Variance for Flexão Estática					
Source	DF	SS	MS	F	P
F	5	517,7	103,5	6,10	0,001
Error	30	508,9	17,0		
Total	35	1026,7			

Individual 95% CIs For Mean				
Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	
7	6	29,548	3,456	(-----*-----)
8	6	30,163	3,219	(-----*-----)
9	6	31,047	4,979	(-----*-----)
10	6	36,722	3,063	(-----*-----)
11	6	37,845	5,412	(-----*-----)
12	6	38,565	4,002	(-----*-----)

Pooled StDev	4,119	30,0	35,0	40,0
---------------------	--------------	-------------	-------------	-------------

Tukey's pairwise comparisons					
Family error rate = 0,0500					
Individual error rate = 0,00487					
Critical value = 4,30					
Intervals for (column level mean) - (row level mean)					
	7	8	9	10	11
8	-7,845 6,615				
9	-8,729 5,732	-8,114 6,347			
10	-14,404 0,057	-13,789 0,672	-12,905 1,555		
11	-15,527 -1,066	-14,912 0,451	-14,029 -0,432	-8,354 6,107	
12	-16,247 -1,786	-15,632 1,171	-14,749 -0,288	-9,074 5,387	-7,950 6,510

Tabela A5.3 - Análise estatística do módulo de resistência à tração perpendicular das chapas de *Pinus caribaea* com 8 e 15mm de espessura.

One-way ANOVA: Tração Perpendicular <i>Pinus caribaea</i> versus Tratamento					
Analysis of Variance for Tração Perpendicular					
Source	DF	SS	MS	F	P
F	5	6,75739	1,35148	178,02	0,000
Error	66	0,50107	0,00759		
Total	71	7,25846			

Individual 95% CIs For Mean				
Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	
1	12	0,7950	0,0598	(-*-)
2	12	0,9000	0,0566	(-*-)
3	12	0,7175	0,0624	(-*-)
4	12	1,3175	0,1005	(-*-)
5	12	1,4958	0,0980	(-*-)
6	12	1,3825	0,1232	(-*-)

Pooled StDev	0,0871	0,75	1,00	1,25	1,50
---------------------	---------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Tukey's pairwise comparisons					
Family error rate = 0,0500					
Individual error rate = 0,00459					
Critical value = 4,15					
Intervals for (column level mean) - (row level mean)					
	1	2	3	4	5
2	-0,20938 -0,00062				
3	0,02688 0,18188	0,07812 0,28688			
4	-0,62688 -0,41812	-0,52188 -0,31312	-0,70438 -0,49562		
5	-0,80522 -0,59645	-0,70022 -0,49145	-0,88272 -0,67395	-0,28272 -0,07395	
6	-0,69188 -0,48312	-0,58688 0,37812	-0,76938 -0,56062	-0,16938 0,03938	0,00895 0,21772

Tabela A5.4 - Análise estatística do módulo de resistência à tração perpendicular das chapas de *Eucalyptus grandis* com 8 e 15mm de espessura.

One-way ANOVA: Tração Perpendicular <i>Eucalyptus grandis</i> versus Tratamento					
Analysis of Variance for Tração Perpendicular					
Source	DF	SS	MS	F	P
F	5	5,15513	1,03103	189,52	0,000
Error	66	0,35905	0,00544		
Total	71	5,51418			

Individual 95% CIs For Mean				
Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	
1	12	0,5250	0,0368	(-*)
2	12	0,6008	0,0581	(-*)
3	12	0,5833	0,0605	(-*)
4	12	1,1417	0,0842	(-*)
5	12	1,0825	0,0640	(-*)
6	12	0,1143	0,1143	(-*)

Pooled StDev	0,0738	0,60	0,80	1,00	1,20
---------------------	---------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Tukey's pairwise comparisons					
Family error rate = 0,0500					
Individual error rate = 0,00459					
Critical value = 4,15					
Intervals for (column level mean) - (row level mean)					
	1	2	3	4	5
2	-0,16419 0,01253				
3	-0,14669 0,03003	-0,07086 0,10586			
4	-0,79503 -0,52831	-0,07086 0,010586	-0,6469 -0,46997		
5	-0,64596 -0,46914	-0,57003 -0,39331	-0,58753 -0,41081	-0,02919 0,14753	
6	-0,46664 -0,46664	0,56753 -0,39081	-0,59503 -0,40831	-0,02669 0,15003	-0,08586 0,09086

Tabela A5.5 - Análise estatística do módulo de resistência à tração superficial das chapas de *Pinus caribaea* com 8 e 15 mm de espessura.

One-way ANOVA: Tração Superficial <i>Pinus caribaea</i> versus Tratamento					
Analysis of Variance for Tração Superficial					
Source	DF	SS	MS	F	P
F	5	0,5563	0,1113	5,10	0,003
Error	24	0,5237	0,0218		
Total	29	1,0800			

Individual 95% CIs For Mean				
Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	
1	5	1,4320	0,0415	(-----*-----)
2	5	1,6460	0,2094	(-----*-----)
3	5	1,2960	0,0770	(-----*-----)
4	5	1,5520	0,0998	(-----*-----)
5	5	1,5960	0,2164	(-----*-----)
6	5	1,7000	0,1505	(-----*-----)

Pooled StDev	0,1477	1,20	1,40	1,60	1,80
---------------------	---------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Tukey's pairwise comparisons					
Family error rate = 0,0500					
Individual error rate = 0,00501					
Critical value = 4,37					
Intervals for (column level mean) - (row level mean)					
	1	2	3	4	5
2	-0,5027 0,0747				
3	-0,1527 0,4247	0,0613 0,6387			
4	-0,4087 0,1687	-0,1947 0,3827	-0,5447 0,03227		
5	-0,4527 0,1247	-0,2387 0,3387	-0,5887 -0,0113	-0,3327 0,2447	
6	-0,5567 0,0207	-0,3427 -0,2347	-0,6927 -0,1153	-0,4367 0,1407	-0,3927 0,1847

Tabela A5.6 - Análise estatística do módulo de resistência à tração superficial das chapas de *Eucalyptus grandis* com 8 e 15mm de espessura.

One-way ANOVA: Tração Superficial <i>Eucalyptus grandis</i> versus Tratamento					
Analysis of Variance for Tração Superficial					
Source	DF	SS	MS	F	P
F	5	1,9478	0,3896	24,64	0,000
Error	24	0,3795	0,0158		
Total	29	2,3273			

Individual 95% CIs For Mean				
Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	
1	5	1,2740	0,0862	(----*----)
2	5	1,3180	0,1119	(----*---)
3	5	1,3480	0,0653	(----*----)
4	5	1,5800	0,2048	(---*----)
5	5	1,9060	0,1159	(---*----)
6	5	1,8520	0,1236	(----*----)

Pooled StDev	0,1257	1,25	1,50	1,75	2,00
---------------------	---------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Tukey's pairwise comparisons					
Family error rate = 0,0500					
Individual error rate = 0,00501					
Critical value = 4,37					
Intervals for (column level mean) - (row level mean)					
	1	2	3	4	5
2	-0,2897 0,2017				
3	-0,3197 0,1717	-0,2757 0,2157			
4	-0,5517 -0,0603	-0,5077 0,0163	-0,4777 0,0137		
5	-0,8777 -0,3863	-0,8337 -0,3423	-0,8037 -0,3123	-0,5717 -0,0803	
6	-0,8237 -0,3323	-0,7797 -0,2883	-0,7497 -0,2583	-0,5177 -0,0263	-0,1917 0,2997

Tabela A5.7 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à flexão estática da condição 3.

Análise de Regressão - condição 3 - transdutor de face exponencial				
Flexão x Velocidade				
FE = - 116 + 0,0666V				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-115,882	6,876	-16,85	0,000
Velocidade	0,066569	0,003008	22,13	0,000

S = 0,6502	R - Sq = 97,2%	R - Sq(adj) = 97,0%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	207,08	207,08	489,78	0,000
Residual Error	14	5,92	0,42		
Total	15	213,00			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	FE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2181	28,000	29,306	0,353	1,306	2,39R
2	2201	32,000	30,637	0,301	1,363	2,36R
R denotes an observation with a large standardized residual						

Análise de Regressão - condição 3 - transdutor de face plana				
Flexão x Velocidade				
FE = - 71,5 + 0,0424V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-71,506	8,426	-8,49	0,000
Velocidade	0,042370	0,003284	12,90	0,000

S = 0,8630	R-Sq = 92,2%	R-Sq(adj) = 91,7%
------------	--------------	-------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	124,01	124,01	166,50	0,000
Residual Error	14	10,43	0,74		
Total	15	134,44			

Tabela A5.8 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à flexão estática da condição 6.

Análise de regressão - condição 6 - transdutor de face exponencial				
Flexão x Velocidade				
FE = - 147 + 0,0812V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	- 146,913	7,600	-19,33	0,000
Velocidade	0,081212	0,003351	24,24	0,000

S = 0,6224	R - Sq = 97,7%	R - Sq(adj) = 97,5%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	227,58	227,58	587,39	0,000
Residual Error	14	5,42	0,39		
Total	15	233,00			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	FE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	2183	32,000	30,372	0,324	1,628	3,06R
R denotes an observation with a large standardized residual						

Análise de Regressão - Condição Experimental 6 - transdutor de face plana				
Flexão x Velocidade				
FE = - 148 + 0,0742V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	- 147,527	9,175	-16,08	0,000
Velocidade	0,0742	0,003672	20,21	0,000

S = 0,7874	R - Sq = 96,5%	R - Sq(adj) = 96,2%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	253,17	253,17	408,29	0,000
Residual Error	15	9,30	0,62		
Total	16	262,47			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	FE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2376	28,000	28,771	0,487	-0,771	-1,25X
X denotes an observation whose X value gives it large influence.						
X denotes an observation whose X value gives it large influence.						

Tabela A5.9 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de elasticidade da condição 3.

Análise de regressão - condição 3 - transdutor de face exponencial				
MOE x Velocidade				
MOE = -8176 + 4,84V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-8175,5	367,2	-22,27	0,000
Velocidade	4,8406	0,1601	30,23	0,000

S = 37,74	R - Sq = 98,3%	R - Sq(adj) = 92,2%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1301432	1301432	913,71	0,000
Residual Error	16	22789	1424		
Total	17	1324222			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	2337	3212,00	3135,91	11,43	75,09	2,09R
R denotes an observation with a large standardized residual						

Análise de regressão - condição 3 - transdutor de face plana				
MOE x Velocidade				
MOE = - 6470 + 3,68V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-6470,3	284,0	-22,78	0,000
Velocidade	3,6802	0,1114	33,05	0,000

S = 30,47	R - Sq = 98,7%	R - Sq(adj) = 98,6%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1014292	1014292	1092,33	0,000
Residual Error	14	13000	929		
Total	15	1027292			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	2528	2760,00	2833,25	7,99	-73,25	-2,49X
R denotes an observation with a large standardized residual.						

Tabela A5.10 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de elasticidade da condição 6.

Análise de Regressão - Condição 6 - Transdutor de face exponencial				
MOE x Velocidade				
MOE = -10062 + 5,95V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-10061,6	735,7	-13,68	0,000
Velocidade	5,9474	0,3242	18,34	0,000

S = 63,85	R - Sq = 95,5%	R - Sq(adj) = 95,2%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1371827	1371827	336,54	0,000
Residual Error	16	65221	4076		
Total	17	1437047			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2164	2755,0	2808,6	37,2	-53,6	-1,03X
3	2225	3048,0	3171,4	20,7	-123,4	-2,04R
6	2234	3353,0	3224,9	18,8	128,1	2,10R
R denotes an observation with a large standardized residual						
X denotes an observation whose X value gives it large influence						

Análise de Regressão - Condição 6 - Transdutor de face plana				
MOE x Velocidade				
MOE = - 9948 + 5,36V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-9948,4	727,2	-13,68	0,000
Velocidade	5,3619	0,2913	18,41	0,000

S = 63,64	R - Sq = 95,5%	R - Sq(adj) = 95,2%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1372238	1372238	338,78	0,000
Residual Error	16	64809	4051		
Total	17	1437047			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	2376	2755	2791,4	37,9	-36,4	-0,74X
13	2515	3670	3536,7	16	133,3	2,16R
R denotes an observation with a large standardized residual.						
X denotes an observation whose X value gives it large influence						

Tabela A5.11 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração perpendicular da condição 3.

Análise de regressão - condição experimental 3 - transdutor de face plana TRAÇÃO PERPENDICULAR X VELOCIDADE				
TP = -0,453 + 0,00168V				
Predictor	Coefficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-0,45333	0,05126	-8,84	0,000
Velocidade	0,00167512	0,00004606	36,37	0,000

S = 0,0124	R - Sq = 98,3%	R - Sq(adj) = 98,2%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,20353	0,20353	1322,86	0,000
Residual Error	23	0,003554	0,00015		
Total	24	0,20706			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	TP	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
18	1115	1,44	1,41443	0,00249	0,02557	2,10R
24	1225	1,57	1,59869	0,00578	-0,02869	-2,61R
R denotes an observation with a large standardized residual						

Tabela A5.12 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração perpendicular da condição 6.

Análise de regressão - condição 6 - transdutor de face plana TRAÇÃO PERPENDICULAR X VELOCIDADE				
TP = -1,38 + 0,00217V				
Predictor	Coefficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-1,37787	0,09248	-14,90	0,000
Velocidade	0,00217388	0,00008065	26,95	0,000

S = 63,64	R - Sq = 95,5%	R - Sq(adj) = 95,2%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,22148	0,22148	726,49	0,000
Residual Error	31	0,00945	0,00030		
Total	32	0,23093			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	TP	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
29	1182	1,23	1,19166	0,00421	0,03834	2,26R
R denotes an observation with a large standardized residual.						

Tabela 5.13 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração superficial da condição 3.

Análise de Regressão - condição 3 - transdutor de face plana TRAÇÃO SUPERFICIAL X VELOCIDADE				
TS = -1,22 + 0,00269V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-1,22	0,2584	-4,71	0,000
Velocidade	0,0026925	0,0002442	11,03	0,000

S = 0,03075	R - Sq = 92,4%	R - Sq(adj) = 91,6%
-------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,11494	0,11494	121,56	0,000
Residual Error	10	0,00946	0,00095		
Total	11	0,12440			

Unusual Observations						
Obs	Velocidade	TS	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	1005	1,55	1,48842	0,01561	0,06158	2,32R
R denotes an observation with a large standardized residual						

Tabela 5.14 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre a velocidade de propagação da onda de ultra-sônica e o módulo de resistência à tração superficial da condição 6.

Análise de Regressão - Condição 6 - transdutor de face plana TRAÇÃO SUPERFICIAL X VELOCIDADE				
TS = - 2,68 + 0,00408V				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-2,6838	0,4497	-5,97	0,000
Velocidade	0,0040792	0,0004057	10,05	0,000

S = 63,64	R - Sq = 95,5%	R - Sq(adj) = 95,2%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,17981	0,17981	101,10	0,000
Residual Error	8	0,01423	0,00178		
Total	9	0,19404			

Tabela 5.15 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o módulo de resistência à flexão estática da condição 3.

Análise de Regressão - condição 3 - transdutor de face exponencial FLEXÃO ESTÁTICA X CONSTANTE DINÂMICA				
FE = -20,5 + 0,0142CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-20,464	3,53	-5,80	0,000
CTE	0,0141607	0,0008769	16,15	0,000

S = 0,9045	R - Sq = 94,2%	R - Sq(adj) = 93,9%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	213,36	213,36	260,80	0,000
Residual Error	16	13,09	0,82		
Total	17	226,44			

Análise de Regressão - condição experimental 3 - transdutor de face plana FLEXÃO ESTÁTICA X CONSTANTE DINÂMICA				
FE = - 16,2 + 0,0106CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-16,229	2,24	-7,5	0,000
CTE	0,0105931	0,0004489	23,60	0,000

S = 0,6291	R - Sq = 97,5%	R - Sq(adj) = 94,4%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	220,46	220,46	556,97	0,000
Residual Error	14	5,54	0,40		
Total	15	226			

Tabela A5.16 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o módulo de resistência à flexão estática da condição 6.

Análise de regressão - condição 6 - transdutor de face exponencial FLEXÃO ESTÁTICA X CONSTANTE DINÂMICA				
FE = -63,3 + 0,0251CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-63,257	3,754	-16,85	0,000
CTE	0,0251114	0,000934	26,89	0,000

S = 0,6115	R - Sq = 97,8%	R - Sq(adj) = 97,7%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	270,30	270,30	722,91	0,000
Residual Error	16	5,98	0,37		
Total	17	276,28			

Unusual Observations						
Obs	CTE	FE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	3628	28	27,847	0,391	0,153	0,33X
12	4052	40	38,494	0,148	1,506	2,54R
R denotes an observation with a large standardized residual.						
X denotes an observation whose X value gives it large influence						

Análise de regressão - condição 6 - transdutor de face plana FLEXÃO ESTÁTICA X CONSTANTE DINÂMICA				
FE = - 67,6 + 0,0216CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-67,571	4,813	-14,04	0,000
CTE	0,0216481	0,0009927	21,81	0,000

S = 0,7308	R - Sq = 97,1%	R - Sq(adj) = 96,9%
------------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	253,96	253,96	475,55	0,000
Residual Error	14	7,48	0,53		
Total	15	261,44			

Unusual Observations						
Obs	CTE	FE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	4375	28	27,139	0,501	0,861	1,62X
X denotes an observation whose X value gives it large influence						

Tabela A5.17 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o módulo de elasticidade da condição 3.

Análise de regressão - condição 3 - transdutor de face exponencial MÓDULO DE ELASTICIDADE X CONSTANTE DINÂMICA				
MOE = -1498 + 1,10CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-1497,5	192	-7,8	0,000
CTE	1,09919	0,04768	23,06	0,000

S = 49,18	R - Sq = 97,1%	R - Sq(adj) = 96,9%
-----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1285526	1285526	531,54	0,000
Residual Error	16	38696	2419		
Total	17	1324222			

Unusual Observations						
Obs	CTE	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	3483	2431	2331	28,1	100	2,48R
R denotes an observation with a large standardized residual.						

Análise de Regressão - condição 3 - transdutor de face plana MÓDULO DE ELASTICIDADE X CONSTANTE DINÂMICA				
MOE = - 1081 + 0,802CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-1081,5	194,9	-5,55	0,000
CTE	0,802	0,03898	20,57	0,000

S = 54,9	R - Sq = 96,4%	R - Sq(adj) = 96,1%
----------	----------------	---------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1275991	1275991	423,30	0,000
Residual Error	16	48230	3014		
Total	17	1324222			

Unusual Observations						
Obs	CTE	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	4260	2431	2335,1	31,2	95,9	2,12R
R denotes an observation with a large standardized residual.						

Tabela A5.18 - Análise estatística do modelo de regressão da correlação entre constante dinâmica e o módulo de elasticidade da condição 3.

Análise de regressão - condição 6 - transdutor de face exponencial MÓDULO DE ELASTICIDADE X CONSTANTE DINÂMICA				
MOE = -3736 + 1,78CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-3736,6	411,7	-9,07	0,000
CTE	1,7846	0,1024	17,42	0,000

S = 67,06	R - Sq = 95 %	R - Sq(adj) = 94,7 %
-----------	---------------	----------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1365100	1365100	303,58	0,000
Residual Error	16	71947	4497		
Total	17	1437047			

Unusual Observations						
Obs	CTE	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	3628	2755	2738,9	42,8	16,1	0,31X
12	4052	3637	3495,5	16,2	141,5	2,17R
R denotes an observation with a large standardized residual.						
X denotes an observation whose X value gives it large influence						

Análise de regressão - condição 6 - Transdutor de face plana MÓDULO DE ELASTICIDADE X CONSTANTE DINÂMICA				
MOE = - 3894 + 1,51CTE				
Predictor	Coeficiente	SE Coeficiente	T	P
Constant	-3894,5	471,5	-8,26	0,000
CTE	1,5076	0,09694	15,55	0,000

S = 74,65	R - Sq = 93,8 %	R - Sq(adj) = 93,4 %
-----------	-----------------	----------------------

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1347876	1347876	241,85	0,000
Residual Error	16	89171	5573		
Total	17	1437047			

Unusual Observations						
Obs	CTE	MOE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	4375	2755	2701,3	50,2	53,7	0,97X
X denotes an observation whose X value gives it large influence						