

**PROPOSTA DE UMA CORRELAÇÃO DO ENSAIO DE
ARRANCAMENTO À TRAÇÃO COM ENSAIO ESCLEROMÉTRICO
PARA DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA DE ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

PROPOSAL OF A CORRELATION OF THE TREATMENT TRACTION TEST WITH
A SCLEROMETRIC TEST TO DETERMINE THE ADHERENCE OF COATING
MORTAR

Cárita Monielle Maia de Oliveira ¹

Alexandre Cerqueira de Jesus ²

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil – Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos

² Engenheiro Civil, Mestre em Geotécnica – Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos
(Orientador)

RESUMO: Um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho dos revestimentos de argamassa é o ensaio de resistência de aderência à tração, normatizado pela NBR 13528 (2010), determinando o valor da tensão máxima que o revestimento suporta. No entanto, quantidade de variáveis tem ocasionado uma discrepância de resultados para uma mesma situação de ensaio. Objetivo deste trabalho é correlacionar o ensaio de arrancamento à tração com ensaio esclerométrico, através de análise estatística. O estudo experimental foi elaborado, com o levantamento de uma parede de alvenaria com superfície chapiscada com traço 1: 3. Em cada face da parede foram confeccionados seis painéis com espessura de esboço 1,5 cm e 2,0 cm, que submetidas aos impactos esclerométrico e posteriormente o ensaio de arrancamento à tração. Resultados mostram que o melhor ajuste foi linear para correlação dos dados, com obtenção de R^2 (0, 78). Conclui-se que modelo linear apresenta uma correlação de dados favoráveis.

Palavras chave: Argamassa de Revestimento, Arrancamento à tração, Esclerometria, Análise Estatística.

ABSTRACT: One of the main parameters to evaluate the performance of the mortar coatings is the tensile strength test, normalized by NBR 13528 (2010), determining the value of the maximum tension that the coating supports. However, the number of variables has resulted in a discrepancy of results for the same test situation. Aim of this work is to correlate the pullout test to the traction with sclerometric test, through statistical analysis. The experimental study was carried out by surveying a masonry wall with a 1: 3 dashed surface. On each face of the wall six panels with 1.5 cm and 2.0 cm sketch thickness were made, which were subjected to impacts and then the pullout test. Results show that the best fit was linear for correlation of the data, with R^2 obtaining (0, 78). We conclude that the linear model has a favorable data correlation.

Key words: Coating Mortar, Traction Pull, Sclerometry, Statistical Analysis.

1 INTRODUÇÃO

Argamassa é um dos materiais com extensa aplicação na construção civil, seja como elo de ligação entre blocos (assentamento) de painéis de alvenaria ou seja como revestimento de paredes, tetos, pisos e elementos estruturais como painéis argamassados.

Em argamassa de revestimento, a aderência ao substrato é uma das principais propriedades mecânicas para verificação do desempenho dos sistemas de revestimento. É uma propriedade complexa, pois depende de uma série de fatores relacionados (materiais envolvidos, processos construtivos e meio ambiente), Costa e Carasek, (2009).

O método de ensaio para avaliar a resistência de aderência à tração, executado conforme a metodologia NBR 13528(2010), consiste na imposição de um esforço de tração perpendicular ao plano do revestimento, após a delimitação de um corpo de prova. Costa e Carasek (2009) afirmam que alguns parâmetros de ensaio pouco específicos, tais como a geometria, dimensão, condições de cura, e velocidade de aplicação da carga, tem sido fonte alta variabilidade de resultados para uma mesma situação de ensaio.

Diante de tais considerações, o presente estudo propõe correlacionar dados do ensaio não destrutivo de esclerometria com ensaio de arrancamento à tração, e analisar melhor ajuste linear entre os dois ensaios. Neste sentido, a metodologia da pesquisa foi elaborada em etapas distintas: caracterização dos materiais

empregados, confecção dos painéis de argamassa e o traço adotado e análise estatística dos resultados.

2 METODOLOGIA

2.1 ETAPA I- MATERIAIS EMPREGADOS

Os aglomerantes utilizados foram cimento CP II E-32 e CH I cal hidratada e suas características são representadas na Tabela 1.

O agregado miúdo é uma areia natural oriunda de rio, com módulo de finura de 2,20 e dimensão máxima característica 1,2 mm, cuja distribuição granulométrica enquadra-se na zona utilizável, sendo equivalente a uma areia média. A Figura 1 representa a curva granulométrica deste agregado.

Tabela 1- Caracterização dos materiais empregados

MATERIAL	MÉTODOS DE ENSAIO	MASSA ESPECÍFICA (g/m³)	MASSA UNITÁRIA (g/m³)
Cimento CII-E-32	NBR NM 23/2001	2,99	2,23
	NBR 11579/2012	-	
Cal hidratada CH- I	NBR NM 23/2001	2,23	-
Areia de rio (seca)	NBR 9976/1987	2,63	
	NBR 7251/1982	-	1,57

Figura 1 – Curva granulométrica conforme a NBR NM (248- 2003)

Fonte: Próprio Autor (2018)

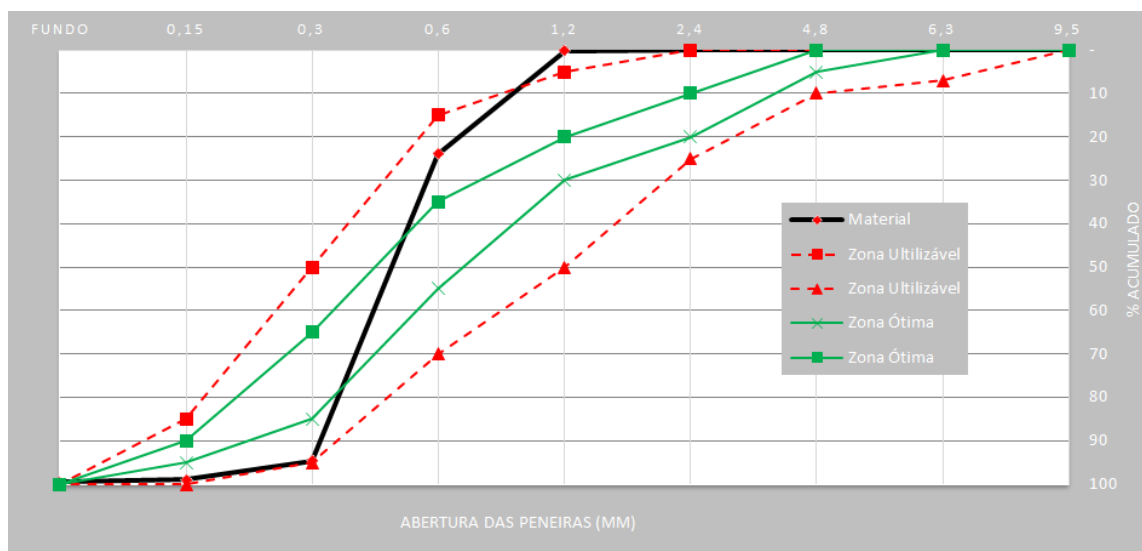


Figura 1 – Curva granulométrica conforme a NBR NM (248/ 2003)

Fonte: Próprio Autor (2018)

2.2 ETAPA II- LEVANTAMENTO DA PAREDE DE ALVENARIA PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Um painel de alvenaria de 210 cm de largura por 180 cm de altura, foi confeccionado blocos cerâmicos de vedação , com a superfície chapiscada no traço 1:3 (cimento e areia grossa), como mostra a Figura 2.



Figura 2 – Parede de alvenaria chapiscada

Fonte: Próprio Autor (2018)

2.3 ETAPA III- DOSAGEM DA ARGAMASSA E CONFECCÇÃO DOS PAINÉIS DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Para definição do traço usado na pesquisa, foi utilizado o método de dosagem experimental desenvolvido por Oliveira (2018), estabelecendo uma dosagem de cimento, cal e areia em massa; T1- 1:1:5. Para este traço determinaram-se as propriedades no estado fresco da argamassa. Todos estes ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção. Na Tabela 2, são apresentados os resultados.

Tabela 2- Caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido.

	CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	METODOS DE ENSAIO	RESULTADOS MÉDIA
ESTADO FRESCO	Densidade de massa e do teor de ar incorporado	NBR 13278/2005	2,85 g/cm ³
	Determinação do índice de consistência	NBR 13276/2016	285 mm

Para homogeneidade da mistura, toda a argamassa utilizada nesta pesquisa foi confeccionada em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 290 litros (Figura 3.a) , sendo a mistura efetuada com 1 saco de cimento (50 kg) , cal hidrata (20kg), empregando se 35 kg de água, para os dois lados do painel de alvenaria, com tempo de mistura entre 8 a 10 minutos, para produção do emboço.

Para aplicação da argamassa foi realizado uma limpeza na superficial, para retirada de poeira para não prejudicar aderência argamassa-substrato chapiscado.

Para cada lado do painel de alvenaria foi fixada espessura do revestimento, para lado A- 1,5 cm e para lado B – 2,0 cm conforme (Figura 3.b), com auxilio de taliscas cerâmicas e o prumo para manter nivelamento. Após este procedimento, procedia o lançamento da argamassa manualmente Figura 3.c. Logo após o lançamento total da argamassa, aguardou para o ponto de sarrafamento. Decorrido o tempo de espera, o pedreiro delimitou se área dos painéis de revestimento, com 50 cm de largura por 40 cm de altura, totalizando seis quadrantes para cada lado da parede de alvenaria, como mostra a Figura 4. Em seguida executava o desempenho da superfície com desempenadeira de metálica Figura 3.d e o acabamento final com espuma umedecida.



Figura 3 – Homogeneização da argamassa (a); colocação das taliscas cerâmicas (b): lançamento da manual da argamassa de revestimento (c); desempenho dos painéis de argamassa.

Fonte: Próprio Autor (2018)



Figura 4 – Painéis de argamassa na parede de alvenaria

Fonte: Próprio Autor (2018)

Os painéis de argamassa foram curados por processo de molhagem no período de sete dias. Os ensaios foram realizados nos painéis de revestimento com idade igual a 28 dias $\pm$ 2.

2.4 ETAPA IV- CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO BRAÇO DE ALAVANCA

Para execução do ensaio de arrancamento a tração, foi confeccionado equipamento desenvolvido pelo IPT modelo EPUSP/ENCOL, como mostra a Figura 5.



Figura 5 –Equipamento braço de alavanca

Fonte: Próprio Autor (2018)

Antes da realização do ensaio, o equipamento foi submetido à calibração, com objetivo de minimizar fonte de erros e estabelecer valor verdadeiro para os resultados.

Calibração foi realizada, correlacionando a carga de tração, com carga aplicada em massa, com pesos que variam de 0,5 kg a 32 kg. A figura 6, mostra a curva de calibração do equipamento.

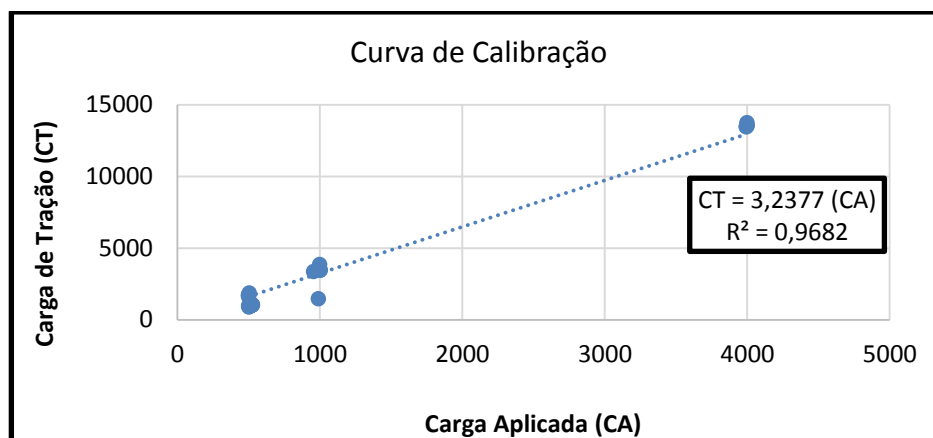


Figura 6– Calibração do braço de alavanca

Fonte: Próprio Autor (2018)

2.4 ETAPA V- REALIZAÇÃO DO ENSAIO ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO E O ENSAIO DE ARRANCAMENTO À TRAÇÃO NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.

Para cada quadrante do painel argamassado foi determinado o valor do índice esclerométrico totalizando 24 pontos equidistantes por quadrante. Utilizou-se o martelo de Smith modelo tipo N, com energia de precursão de 0,75N.m. A determinação do índice esclerométrico baseado na metodologia apresentada pela norma NBR (7584/2012).

Para ensaio de arrancamento à tração foram preparados 36 corpos de prova, mantendo-se um espaço mínimo de 12 cm entre os corpos de prova e pelos menos 10 cm da borda, para minimizar a variabilidade associada aos materiais.

Os corpos de prova foram cortados por uma serra- corpo apresentado 50 mm de diâmetro acoplado à uma furadeira. Para colagem das pastilhas metálicas (Figura 7.a.) no revestimento, utilizou-se cola à base de resina poliéster.

Para execução do ensaio de resistência à tração, a base do equipamento era fixada perpendicular superfície do painel de revestimento. Com auxílio de um cabo de aço, fixado com encaixe das pastilhas metálicas. Posteriormente a carga adicionando os pesos até ruptura.



(a)

(b)

Figura 7– Pastilhas metálicas coladas no painel argamassado (a); posicionamento do equipamento para ruptura

Fonte: Próprio Autor (2018)

3 RESULTADOS E DISCURSÕES

3.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados a seguir foram obtidos dos painéis com revestimento de 2,0 centímetros de espessura. Devido a impossibilidade da realização dos ensaios com os painéis com 1,5 centímetros de espessuras que durante o processo de corte fragmentou-se (Figura 8.b) . O fissuramento excessivo (Figura 8.a), associado a vibração excessiva durante o corte.

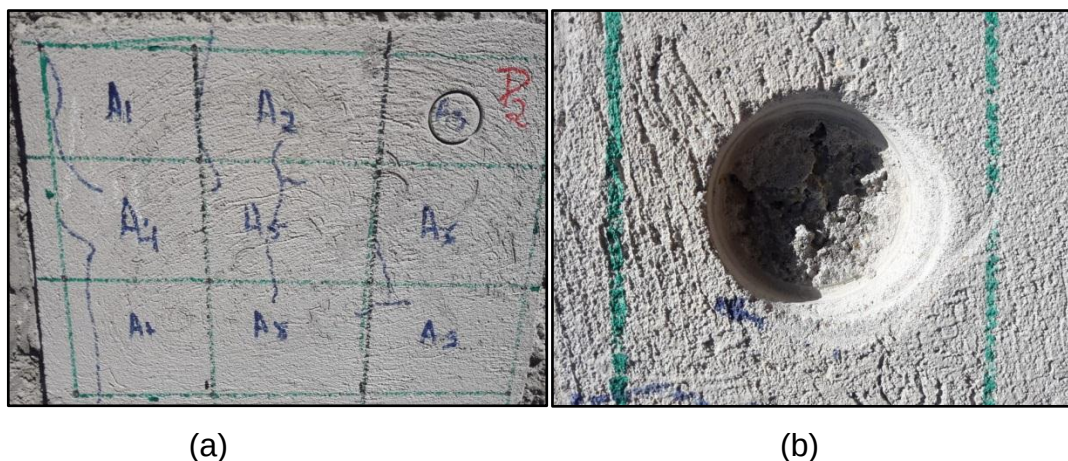


Figura 8- Fissuramento no painel de espessura 1,5 cm (a), condição da amostra com corte serra corpo.

Fonte: Próprio Autor (2018)

3.1.1 Ensaio de arrancamento para medida de aderência da argamassa e medidas de índice esclerométrico.

Os painéis de espessura 2,0 cm (Figura 9.a) apresentaram menor quantidade de fissuras superficiais em relação ao painel de espessuras de 1,5 cm. A ruptura foram de caráter tipo coesiva, correndo no interior da argamassa (Figura 4.b). A NBR 13528/2010, aborda que as rupturas que correm dentro da camada de argamassa, deve ser indicadas a presença de vazios ou outras falhas de aplicação. Já para Costa (2016), rupturas com esse perfil de caráter coesivo são menos preocupantes, ao menos que as resistências encontradas sejam muito baixas.

Os valores de resistência à tração foram em média de 0,30 MPa, os resultado apresentados no Quadro 1.

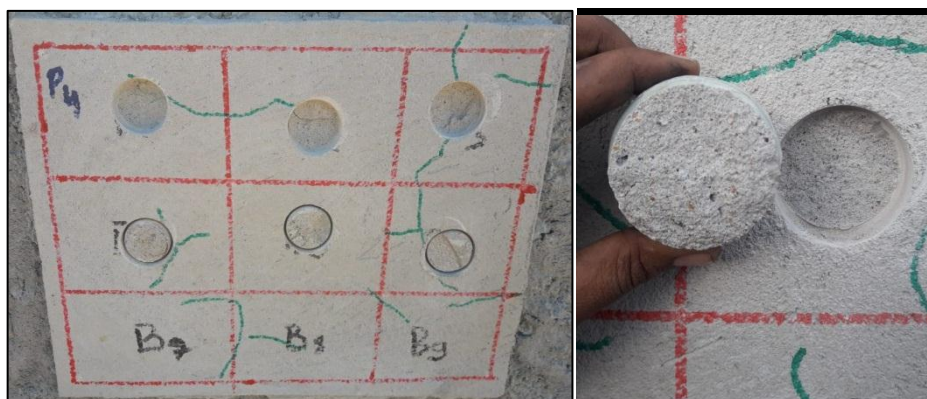


Figura 9- Paineis de revestimento com espessura 2,0 cm (a), rupturas no interior na argamassa.

Quadro 1- Resultados das resistências de aderência à tração

CP	Área (mm ²)	Carga de aplicada (kg)	Tensão aplicada (MPa)
1	50	21,99	0,355
2	50	24,94	0,403
3	50	8,72	0,142
4	50	15,00	0,242
5	50	20,99	0,242
6	50	31,55	0,510
7	50	19,00	0,307
8	50	20,99	0,339
9	50	35,36	0,210
10	50	12,99	0,242
11	50	15,00	1,168
12	50	7,22	0,307
13	50	20,99	0,339
14	50	8,76	0,356
Média		19,00	0,36
Desvio Padrão		8,10	0,24
CV %		2,41	0,63

De acordo com a NBR (3749/2013) específica que para revestimento externos com espessuras de $20 \leq e \leq 30$, a resistência de aderência à tração limite deve apresentar resistências não inferiores 0,30 MPa.

3.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS DUAS VARIÁVEIS

A Figura 10 apresenta a distribuição de frequência dos resultados obtidos para a aderência.

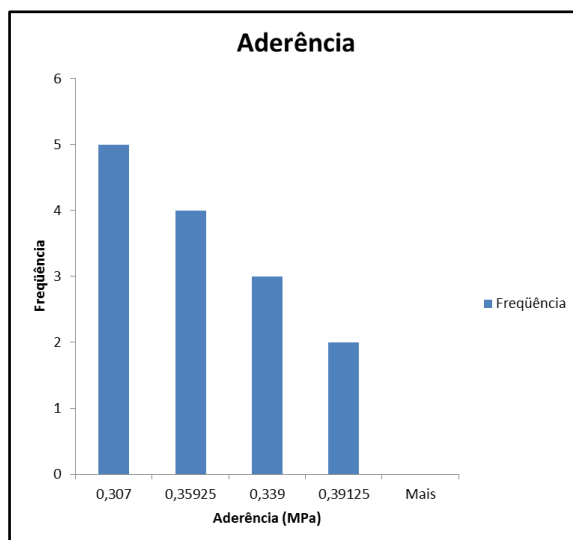


Figura 10- Distribuição dos Resultados de Aderência

A Figura 11 apresenta a distribuição de frequência dos resultados obtidos para o índice esclerométrico medidos. Pode-se observar pelos resultados apresentados no Quadro 2 e na Figura 11 que existe uma assimetria a esquerda evidenciada pelo valor elevado da curtose (2,64).

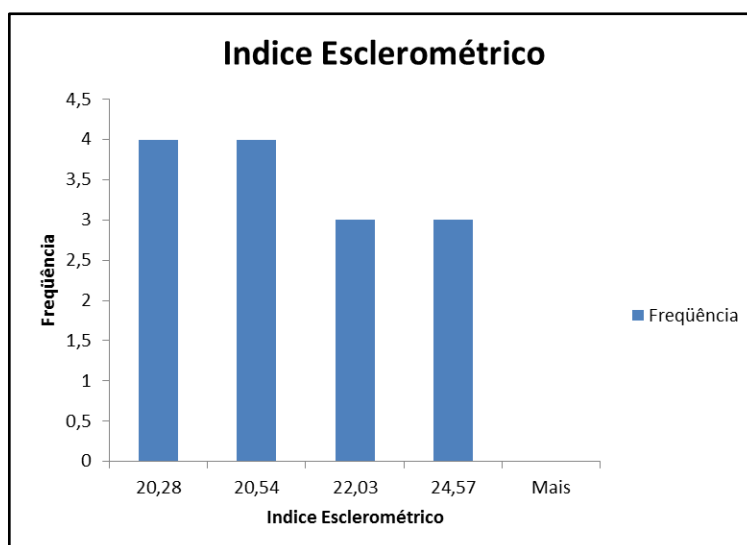


Figura 11 – Resultados do Índice Esclerométrica

Quadro 1- Resultados medida do índice esclerométrico

Painel	Índice Esclerométrico (IE)			Painel	Índice Esclerométrico (IE)			Índice esclerométrico	
1B	18,90	22,68	19,85	4B	9,45	9,45	20,79	Média	21,94
	26,46	24,57	21,74		25,52	23,63	21,74	Mediana	22,68
	9,45	9,45	20,79		20,79	24,57	17,01	Desvio padrão	3,92
	25,52	23,63	21,74		23,63	20,79	26,46	Variância da amostra	15,40
2B	26,46	24,57	21,74	5B	25,52	23,63	21,74	Coefficiente de Variação (%)	17,89
	27,41	20,79	22,68		25,52	17,01	26,46	Curtose	2,64
	25,52	25,52	21,74		20,79	20,79	26,46	Assimetria	-1,49
	20,79	17,01	26,46		23,63	22,68	16,07	Nível de confiança(95,0%)	0,80
3B	27,41	20,79	22,68	6B	25,52	17,01	26,46		
	20,79	17,01	15,12		25,52	21,74	23,63		
	25,52	25,52	26,46		20,79	22,68	16,07		
	12,29	21,74	23,63		23,63	22,68	26,46		

3.2.2 .Identificação da Variável dependente e independente

Hipóteses, variáveis dependentes e independentes formam um conjunto de ferramentas que nos auxiliam a criar teorias sobre fenômenos da natureza.

O processo para investigar um determinado fenômeno da natureza normalmente envolve três níveis. No primeiro nível acontece a observação dos fatos, fenômenos comportamentos e atividades, no caso deste trabalho foi a medida do índice esclerométrico e dos valores de aderência.

No segundo nível, temos a hipótese a ser testada, neste caso a hipótese é a existência de uma correlação entre a resistência ao arrancamento e o índice esclerométrico.

Diante deste pressuposto são apresentadas nas Figuras 12 e 13 os testes estatísticos para avaliação da dependência entre as variáveis experimentais e sua validação correlacional. Os testes foram realizados utilizando o suplemento Análise de Dados – Regressão e Correlação do *software Microsoft Excel 2010*.

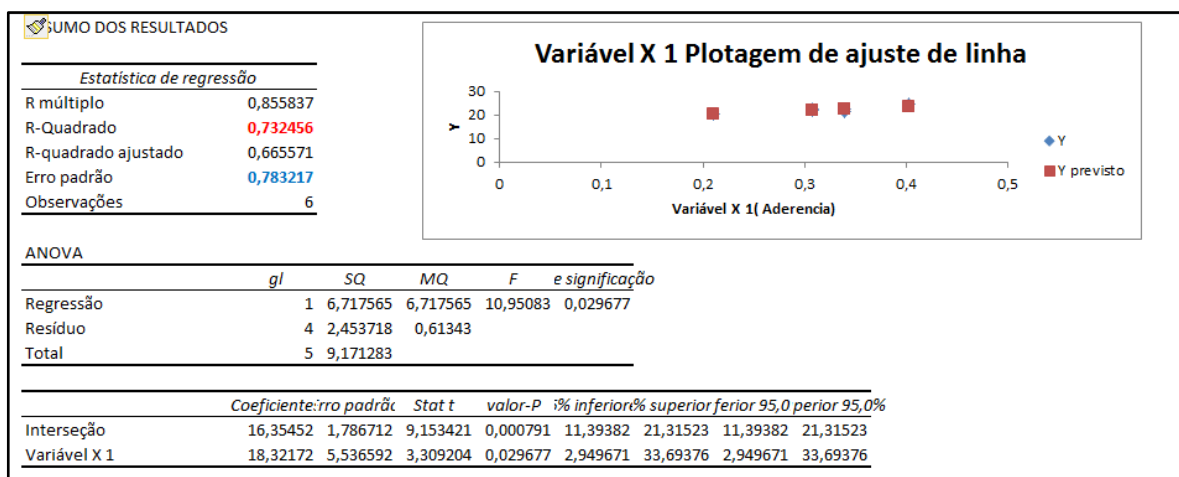


Figura 12 – Variável Independente – Aderência

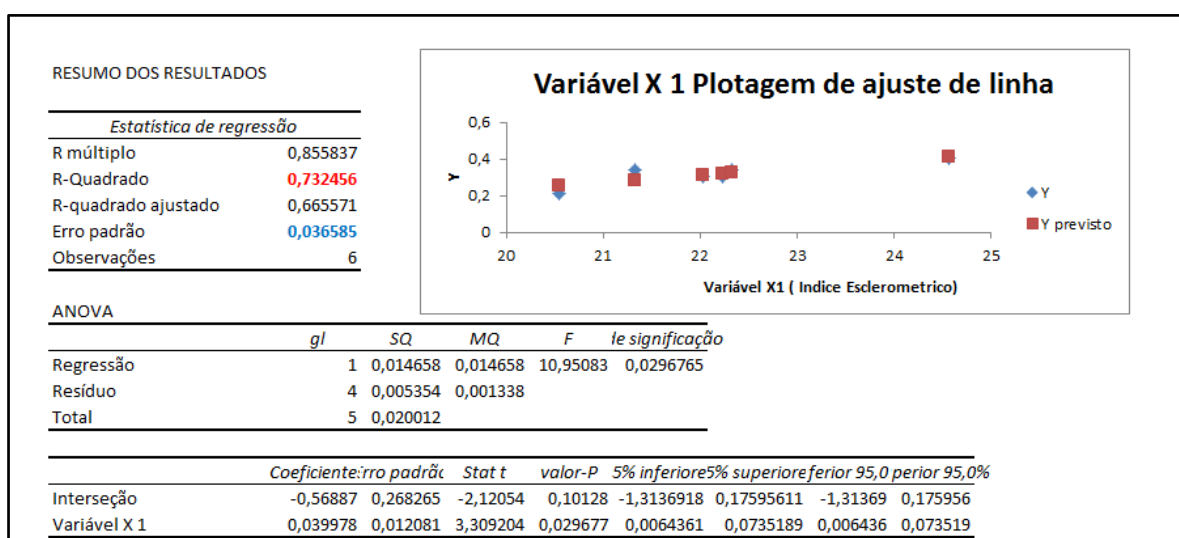


Figura 13 – Variável Independente – Esclerometria.

Os resultados indicam uma correlação moderada entre os dados experimentais ($r^2 = 0,77$). Avaliando pelo teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov observa-se que a condição do erro padrão em relação a regressão linear obteve o valor de 0,78 quando a variável dependente foi a aderência e 0,036 quando a variável independente foi o índice de esclerometria.

Diante destes resultados apresentados, adotou-se como variável independente o índice esclerométrico e como variável dependente o valor da aderência.

3.2.2 Modelo de Correlação entre Índice Esclerométrico (Variável dependente) e o Valor de Aderência (Variável).

Para a avaliação do modelo matemático que representasse o fenômeno da relação entre a aderência da argamassa e o rigidez superficial, foi utilizado dois modelos distintos. O primeiro modelo conceitual é baseado em uma regressão linear (Figura 8) cujo coeficiente de correção é na ordem de 0,73. Em vista de que no modelo físico não existe valores de rigidez superficial nula, adotou-se a condição de ajuste matemático com interceptação no eixo das ordenadas.

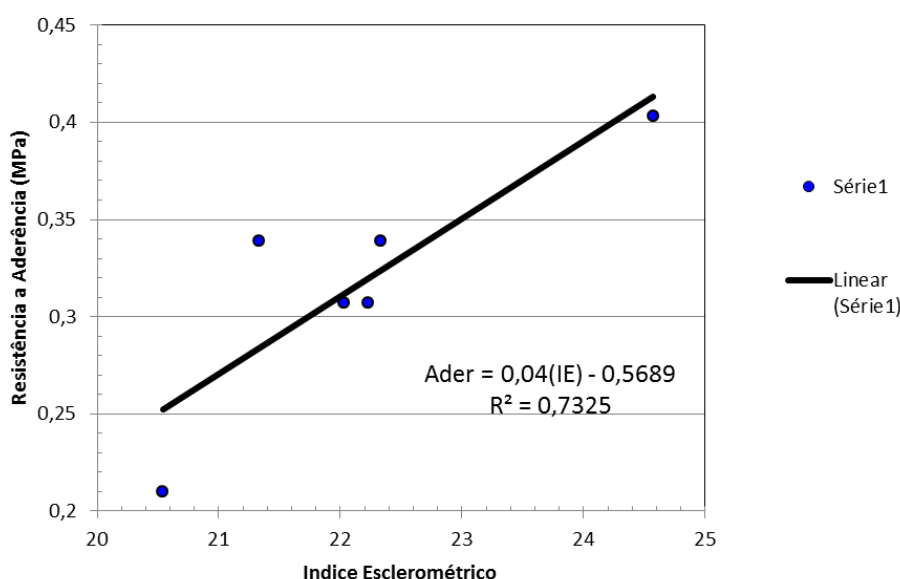


Figura 14 – Modelo Linear da Relação de Aderência e Índice Esclerométrico

Para os mesmos resultados obtidos experimentalmente verificou-se um ajuste não linear que representasse adequadamente a relação entre as variáveis. Com o auxílio do software Curve Explore adotou-se o modelo matemático de Gompertz apresentado na Figura 15 abaixo, e cuja expressão de ajuste é identificada na equação I:

$$ADER = 0,419e^{-e^{11,23-0,57(IE)}} \quad (I)$$

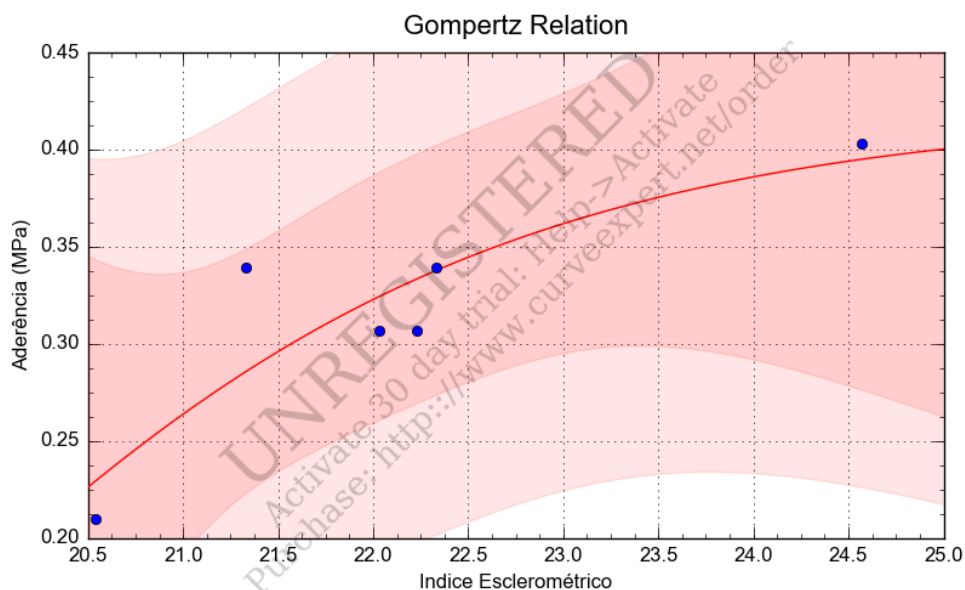


Figura 15 – Modelo Não Linear da Relação de Aderência e Índice Esclerométrico

Para este ajuste modelo matemático o valor do coeficiente de correlação tem ($r^2 = 0,78$) bem próximo ao obtido para o ajuste linear.

6 CONCLUSÃO

Na distribuição de frequência dos resultados analisados que apresentou menor dispersão foi índice esclerometrico, devido uma melhor assimetria . Para variável independente observou-se o índice escleometrico apresenta correlação moderada ($r^2 = 0,78$).

Para modelo linear e não linear o que melhor representou foi ajuste linear, como a variável de aderência dependente, o modelo melhor se ajusta á mostra analisadas.

6 AGRADECIMENTO

A coordenação de Engenharia Civil, ao professor mestre Alexandre Cerqueira pelo apoio e dedicação.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregados em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido-

Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão- Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9976**: Agregados- Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. **Conhecendo Argamassa**. 2. ed.rev. Porto Alegre: EDIPURCS, 2011. 188p.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos- Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

RODRUGUES, Paula Nader. Caracterização das argamassas históricas das ruínas de São Miguel Arcanjos/ Rs. 2013. 142f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal Santa Maria, Rio Grande Sul, 2013.