

IBRACON

"Simpósio sobre
Durabilidade do Concreto"
julho 2000

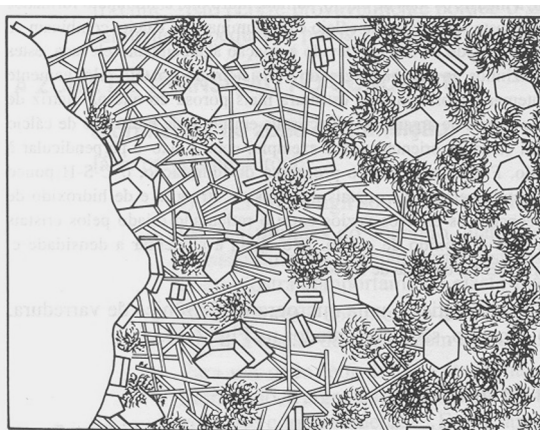
USP
PCC

INFLUÊNCIA da ZONA de TRANSIÇÃO nas PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS do CONCRETO

Eng. Paulo Helene
Paulo Helene Pereira de Lima
Universidade de São Paulo

1

Zona de Transição

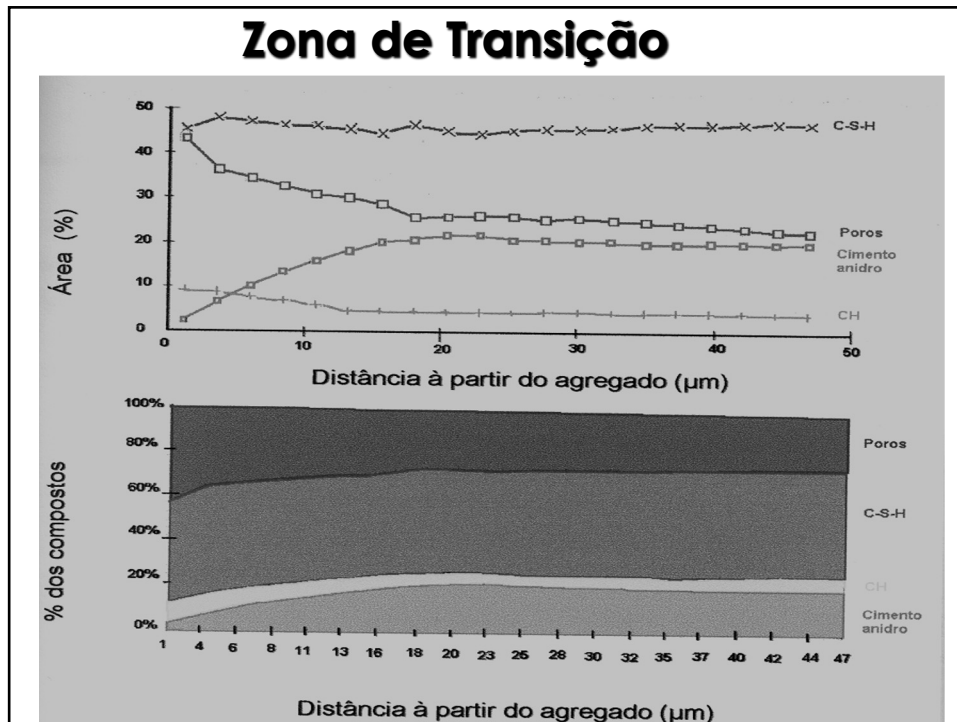
3 a 25 μm

- exsudação
- físico-química
- efeito parede
- retração

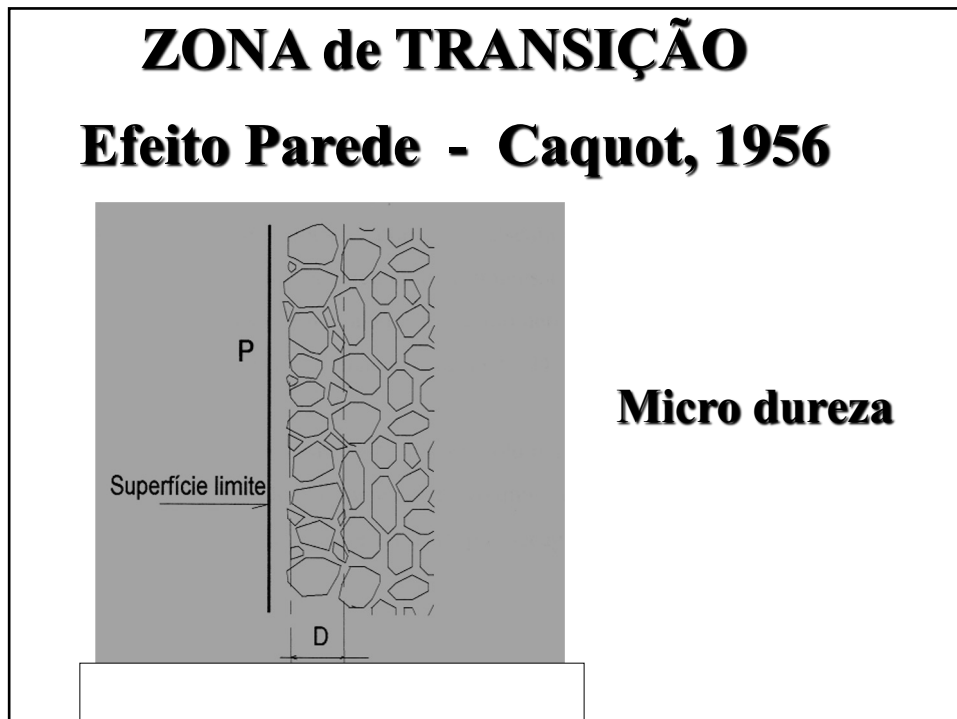
Agregado E ← Zona de Transição → Matriz de pasta de cimento

Farran, 1956; Maso, 1967; Ollivier, 1980; Struble, 1980;
Monteiro, 1985; Massazza, 1986; Winslow, 1994)

2



3



4

ZONA de TRANSIÇÃO

Retração - Diamond & Mindess, 1982

Micro-fissuras

Cura

Proximidade agregados ZT < 30 μm

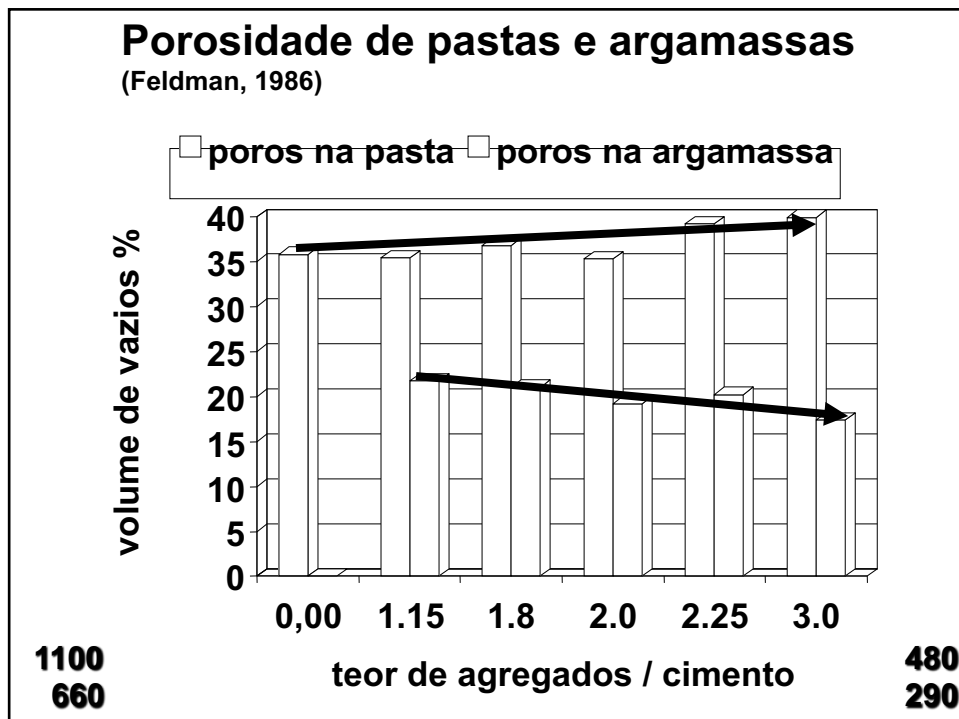
- **Houst, 1992 > 50% de agregado aumenta o coeficiente de difusão de CO_2 e O_2**

5

Zona de Transição

- **Snyder & Garboczi, 1992 > 49% de agregado ocorre a interconexão das ZT em 100%**
- **Winslow, 1994 > 50% de agregado há prejuízo das propriedades dos concretos**
- **Ollivier, 1998 > 50% de agregado em volu- há interconexão das ZTs**

6



7

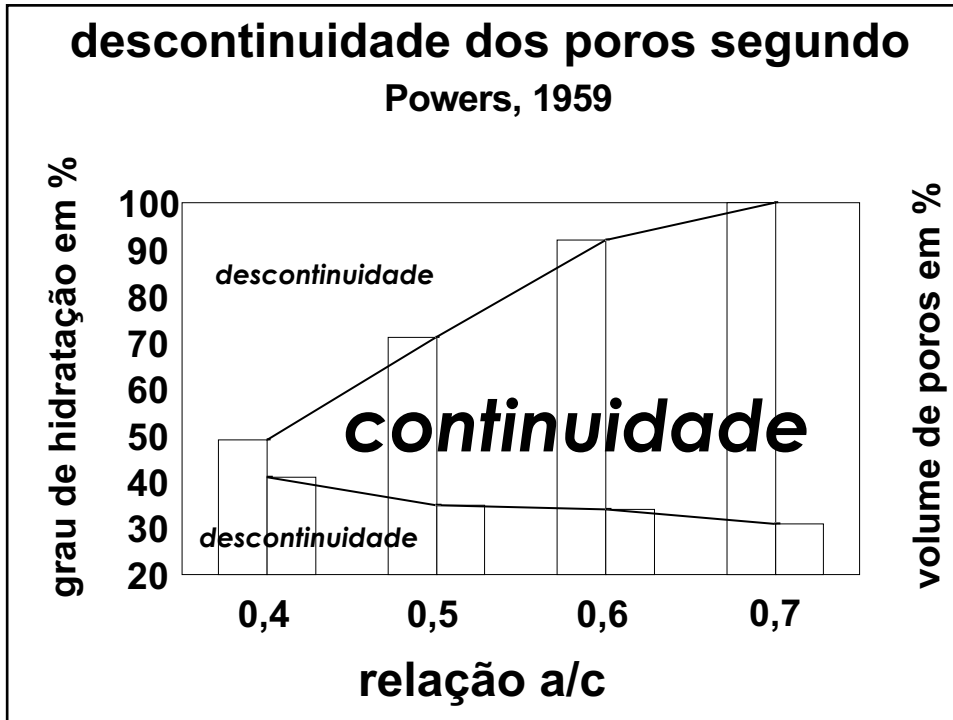
Zona de Transição versus Durabilidade

***“ponto débil da estrutura interna do concreto”
“diâmetro > 0,1 mm é o que importa”***

Powers, 1959

***“estrutura da pasta é o principal”
continuidade e descontinuidade dos poros***

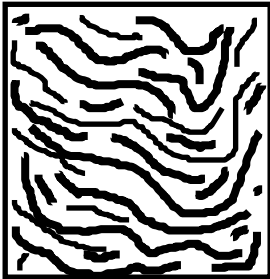
8



9

Powers' Model

**gel 100% hidratado
tem 27 a 28 % de vazios**



**para água de
cristalização = 0,28 →
água de gel = 0,19 da
massa cimento**

10

Powers' Model

Quais as águas
da pasta hidratada?



11

Powers' Model

água capilar

água de gel

água de
cristalização

12

Powers' Model

1 : 2 : 3 ; 0.50 C = 370 kg/m³

0.6	air = 0.02		air = 0.02	
	w _{cap} = 0.10		emotv pores 0.04	9.0
17.9	w _{gel} = 0.18		w _{cap} = 0.18	
	w _{ch} = 0.22		w _{gel} = 0.14	17.2
11.5	c = 0.32		solid p.=0.35	
			c = 0.11	3.8
28.0	s = 0.76		s = 0.76	28.0
42.0	g = 1.14		g = 1.14	42.0
100%	vol.=2.74		vol.=2.74	100%

14

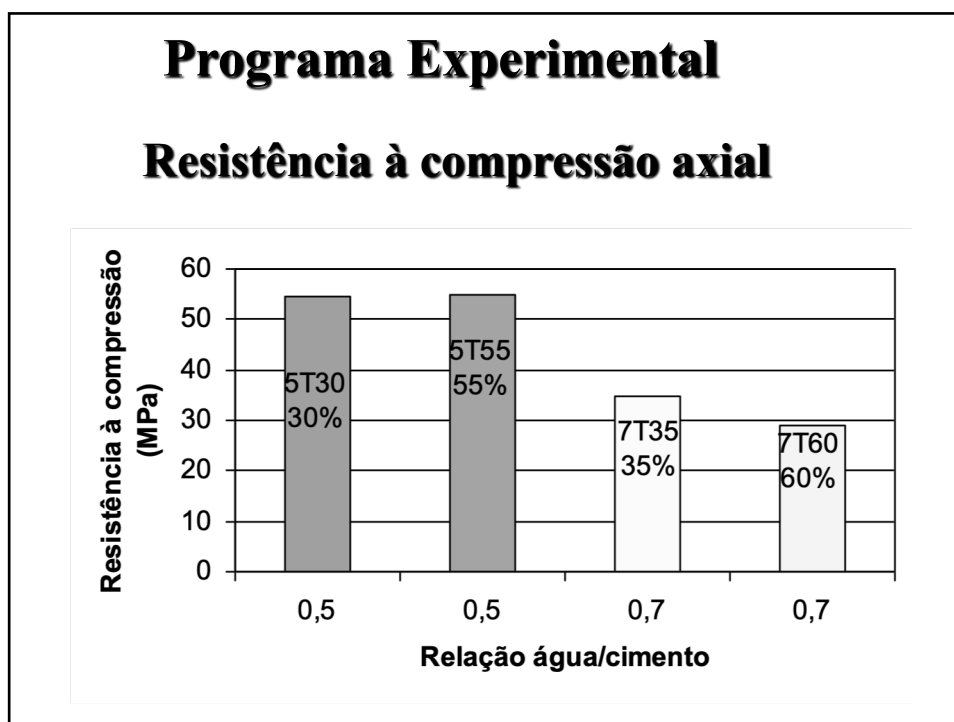
Programa Experimental

<i>Independentes</i>	<i>Dependentes</i>	<i>Intervenientes</i>
CP V ARI PLUS	f _{c28}	consistência
areia	permeabilidade capilaridade	θ & UR da sala de moldagem
brita 1	íons cloreto	condições de cura
4 traços 2 a/c	porosimetria microscopia	consumo de cimento
idade 28 dias	volume vazios	ar aprisionado

15

Programa Experimental				
traço	5T30	7T35	5T55	7T60
v. pasta %	30	35	55	60
a/c	0,5	0,7	0,5	0,7
consistência	seca	plástica	fluída	fluída
consumo kg/m ³	370	345	674	605
γ kg/m ³	2411	2329	2235	2124
ar apris. %	0,6	0,5	0,3	0,2

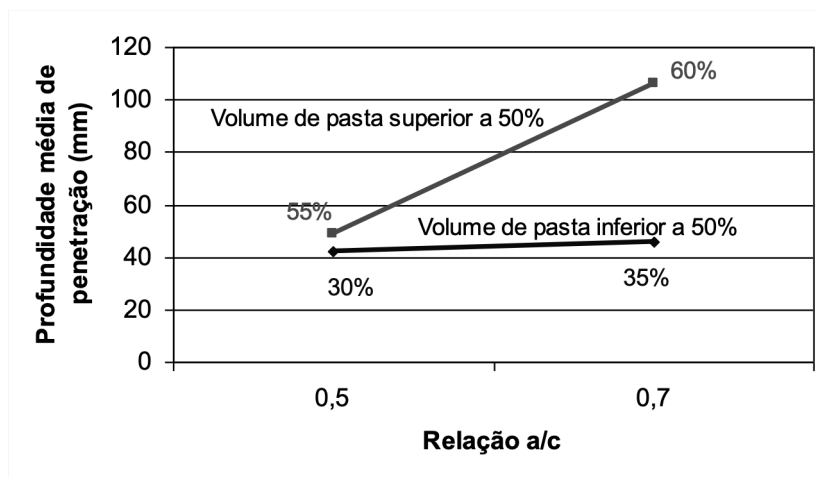
16



17

Programa Experimental

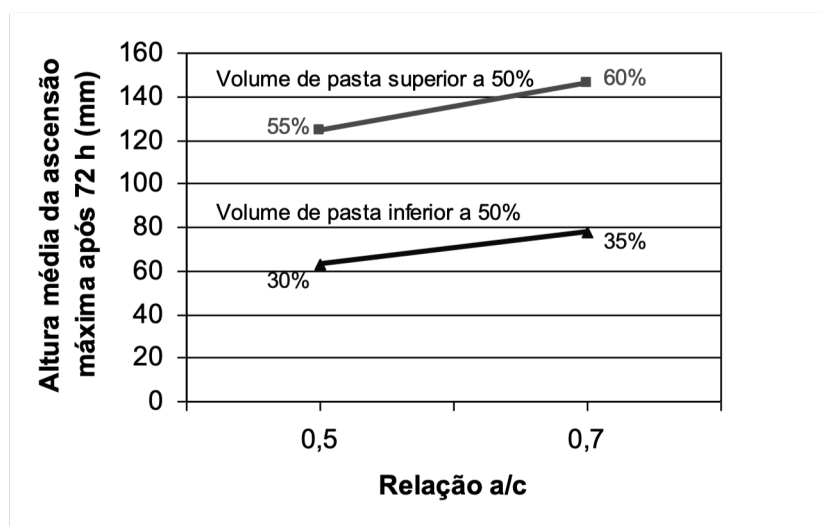
Penetração de água sob pressão



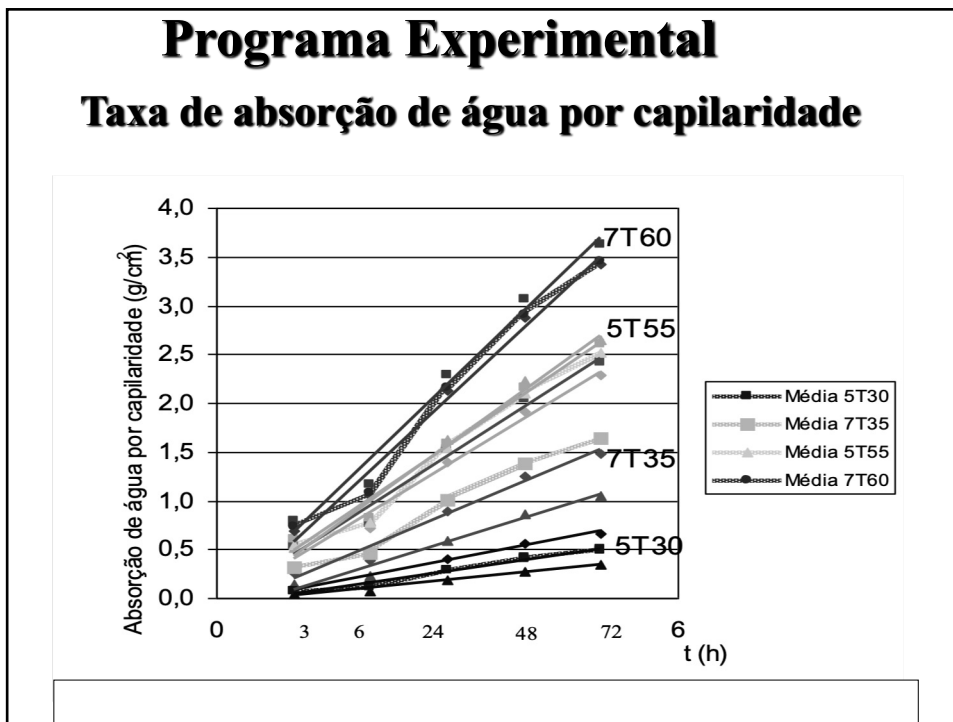
18

Programa Experimental

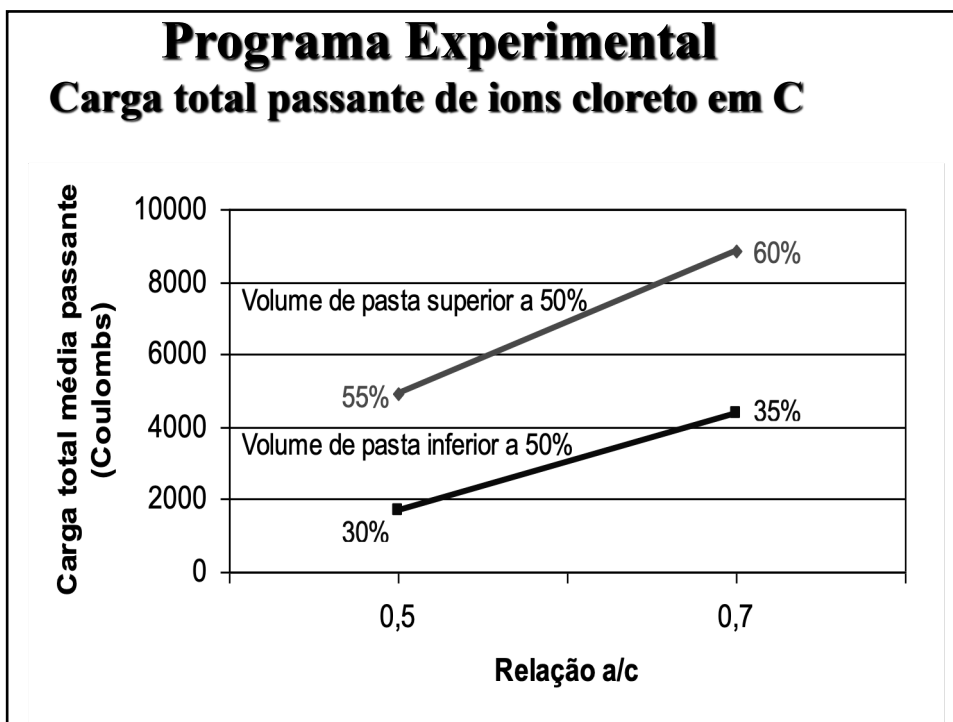
Altura da ascensão capilar após 72 h



19



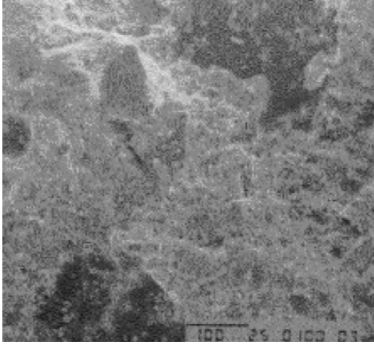
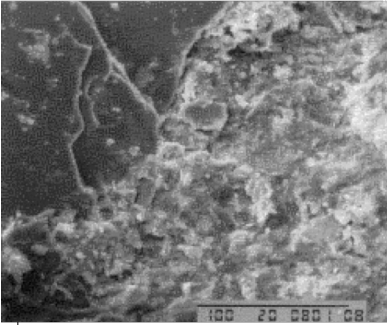
20



21

Programa Experimental

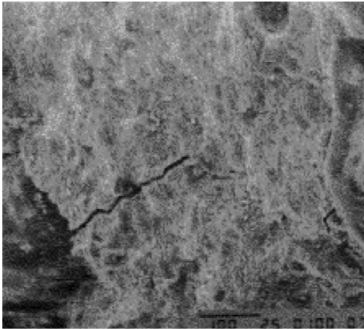
Traço 5T30
Região entre dois agregados, sem interconexão.



Traço 7T35
Interface pasta/agregado; sem fissura.

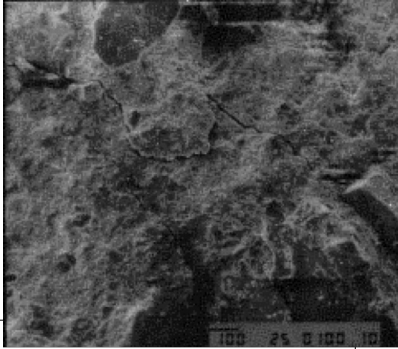
22

Programa Experimental



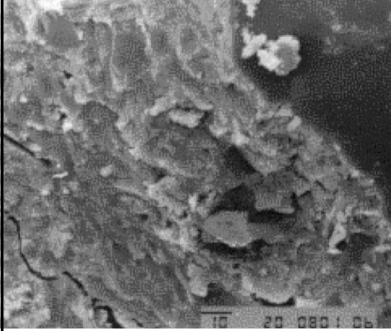
Traço 5T55
Região entre dois agregados, com microfissuras.

Traço 5T60
Região entre agregados, com microfissuras.



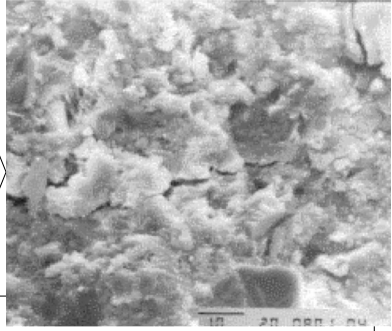
23

Programa Experimental



Traço 7T60
Microfissuras na pasta.

Traço 5T55
Interface
pasta/agregado; com
fissura, 1000x.



24

Powers' Model

1 : 2 : 3 ; 0.50

30%

air = 0.02	
empty pores 0.04	9.0
w _{cap} = 0.18	
w _{gel} = 0.14	17.2
solid p.=0.35	
c = 0.11	3.8
s = 0.76	28.0
g = 1.14	42.0
vol.=2.74	100%

1 : 0.8 : 1 ; 0.50

55%

air = 0.01	
empty pores 0.04	16.0
w _{cap} = 0.18	
w _{gel} = 0.14	31.7
solid p.=0.35	
c = 0.11	7.3
s = 0.30	19.9
g = 0.38	25.1
vol.=1.51	100%

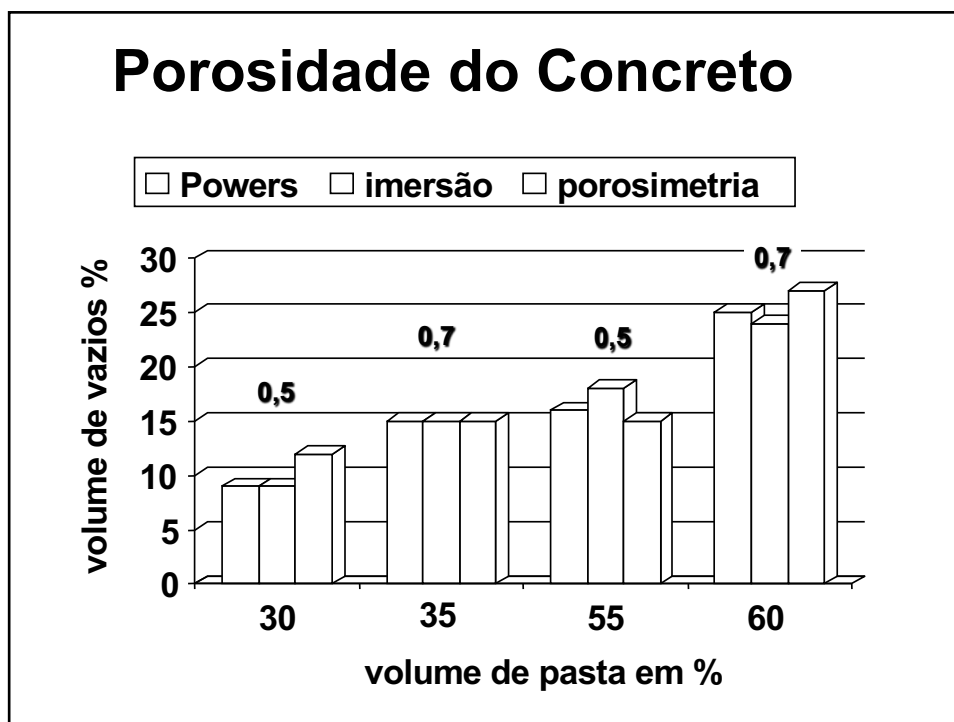
26

Powers' Model																																					
1 : 2 : 3 ; 0.70	1 : 0.8 : 1 ; 0.70																																				
35%	60%																																				
<table border="1"> <tr><td>air = 0.02</td><td></td></tr> <tr><td>empty pores 0.04</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>w_{cap} = 0.38</td><td></td></tr> <tr><td>w_{gel} = 0.14</td><td>16.3</td></tr> <tr><td>solid p.=0.35</td><td></td></tr> <tr><td>c = 0.11</td><td>3.7</td></tr> <tr><td>s = 0.76</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>g = 1.14</td><td>40.0</td></tr> <tr><td>vol.=2.94</td><td>100%</td></tr> </table>	air = 0.02		empty pores 0.04	15.0	w _{cap} = 0.38		w _{gel} = 0.14	16.3	solid p.=0.35		c = 0.11	3.7	s = 0.76	25.0	g = 1.14	40.0	vol.=2.94	100%	<table border="1"> <tr><td>air = 0.01</td><td></td></tr> <tr><td>empty pores 0.04</td><td>25.1</td></tr> <tr><td>w_{cap} = 0.38</td><td></td></tr> <tr><td>w_{gel} = 0.14</td><td>28.5</td></tr> <tr><td>solid p.=0.35</td><td></td></tr> <tr><td>c = 0.11</td><td>6.4</td></tr> <tr><td>s = 0.30</td><td>17.6</td></tr> <tr><td>g = 0.38</td><td>22.4</td></tr> <tr><td>vol.=1.71</td><td>100%</td></tr> </table>	air = 0.01		empty pores 0.04	25.1	w _{cap} = 0.38		w _{gel} = 0.14	28.5	solid p.=0.35		c = 0.11	6.4	s = 0.30	17.6	g = 0.38	22.4	vol.=1.71	100%
air = 0.02																																					
empty pores 0.04	15.0																																				
w _{cap} = 0.38																																					
w _{gel} = 0.14	16.3																																				
solid p.=0.35																																					
c = 0.11	3.7																																				
s = 0.76	25.0																																				
g = 1.14	40.0																																				
vol.=2.94	100%																																				
air = 0.01																																					
empty pores 0.04	25.1																																				
w _{cap} = 0.38																																					
w _{gel} = 0.14	28.5																																				
solid p.=0.35																																					
c = 0.11	6.4																																				
s = 0.30	17.6																																				
g = 0.38	22.4																																				
vol.=1.71	100%																																				

27

volume de vazios do concreto em %					
pasta	a / c	Powers	imersão	porosi- metria	≥ 0,1 μm
30%	0,5	9	9	12	1,1
35%	0,7	15	15	15	2,9
55%	0,5	16	18	15	3,2
60%	0,7	25	24	27	9,5

28

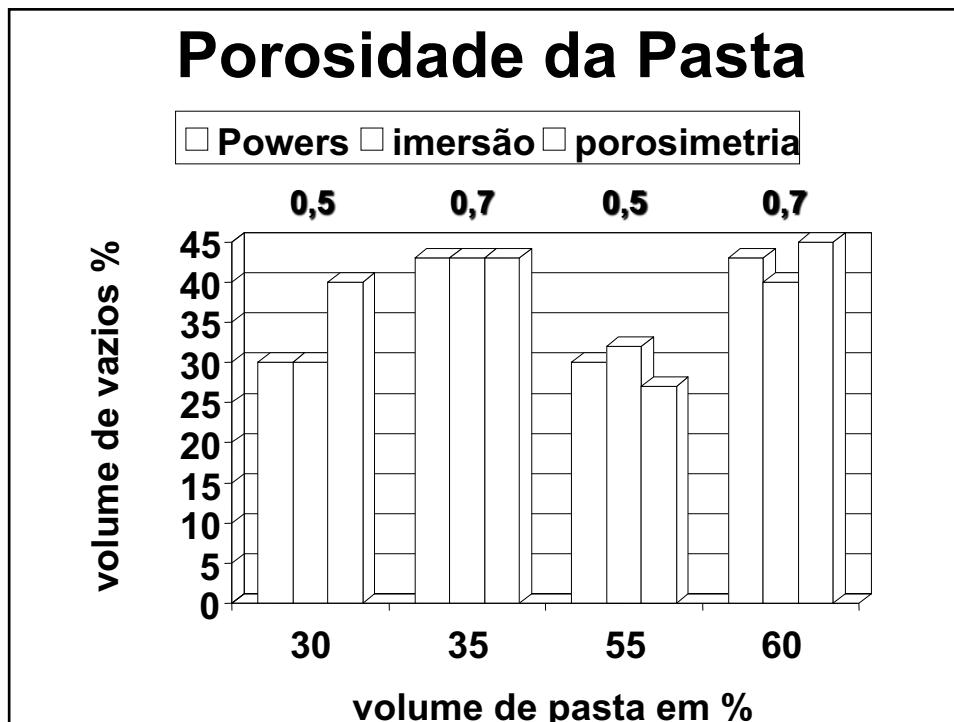


29

volume de vazios da pasta em %

pasta	a / c	Powers	imersão	porosi- metria	$\geq 0,1 \mu\text{m}$
30%	0,5	30	30	40	4
35%	0,7	43	43	43	9
55%	0,5	30	32	27	6
60%	0,7	43	40	45	16

30



31

Conclusões

- ⇒ **as propriedades das pastas são mais relevantes para o concreto que a influência da ZT pasta/agregado;**
- ⇒ **grau de conectividade entre poros é mais importante que a interconexão das ZT pasta/agregado;**
- ⇒ **os concretos com menor volume de pasta foram mais resistentes ao transporte de massa que os de maior volume de pasta.**

32

Conclusões

- ⇒ **é indiscutível a existência da ZT;**
- ⇒ **é discutível a importância dessa ZT nas propriedades tecnológicas dos concretos, tanto do ponto de vista do comportamento físico-mecânico, quanto do ponto de vista da durabilidade;**
- ⇒ **o assunto merece novos estudos mais específicos.**