

IBRACON

"Simpósio sobre
Durabilidade do Concreto"
julho 2000

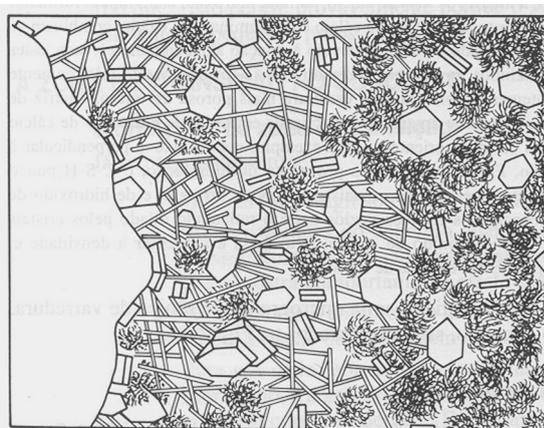
USP
PCC

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

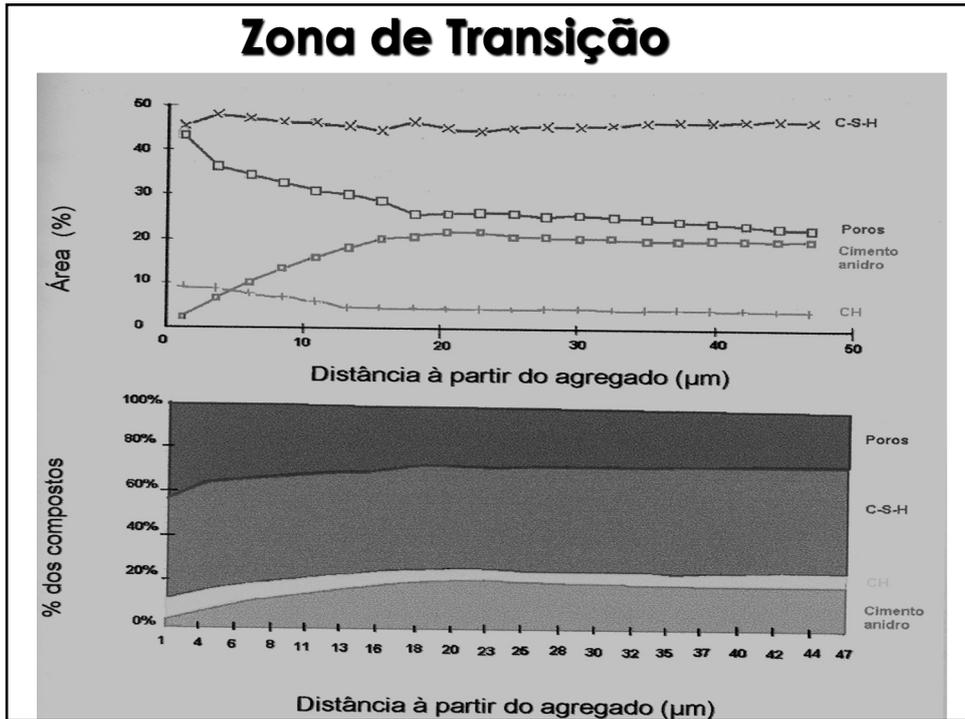
3 a 25 μm

- exsudação
- físico-química
- efeito parede
- retração

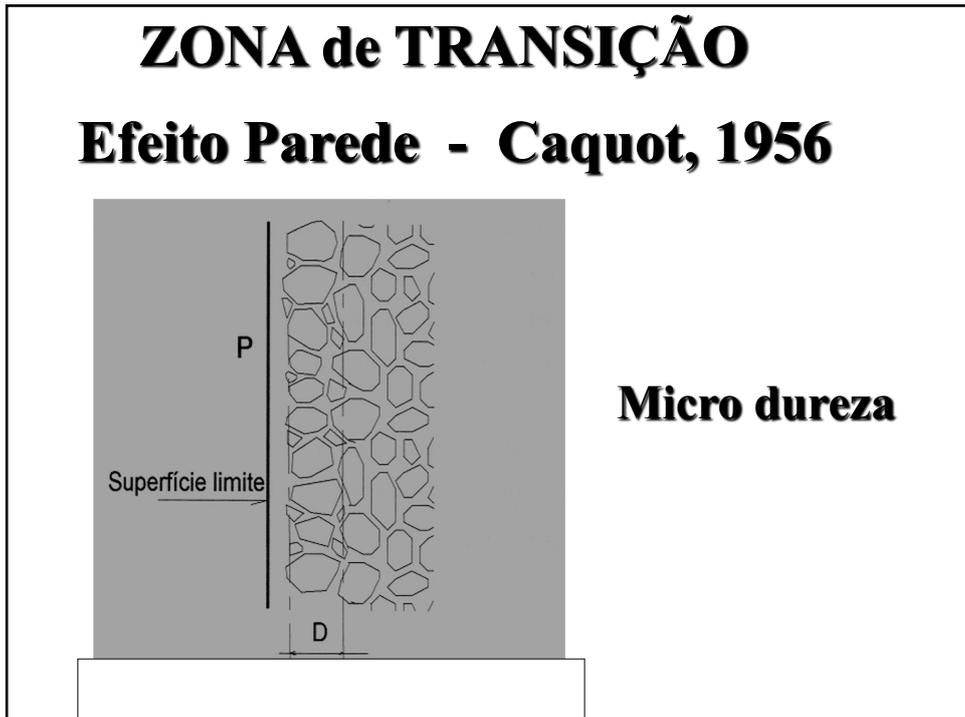
Agregado E ← Zona de Transição → Matriz de pasta de cimento

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

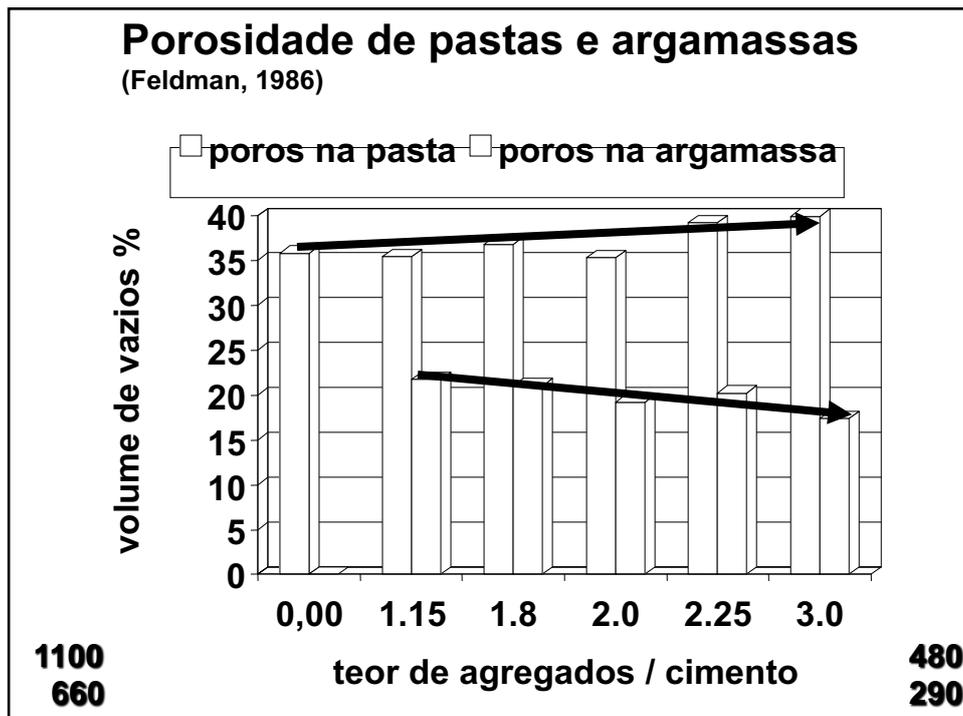
- **Houst, 1992 > 50% de agregado aumenta o coeficiente de difusão de CO_2 e O_2**

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

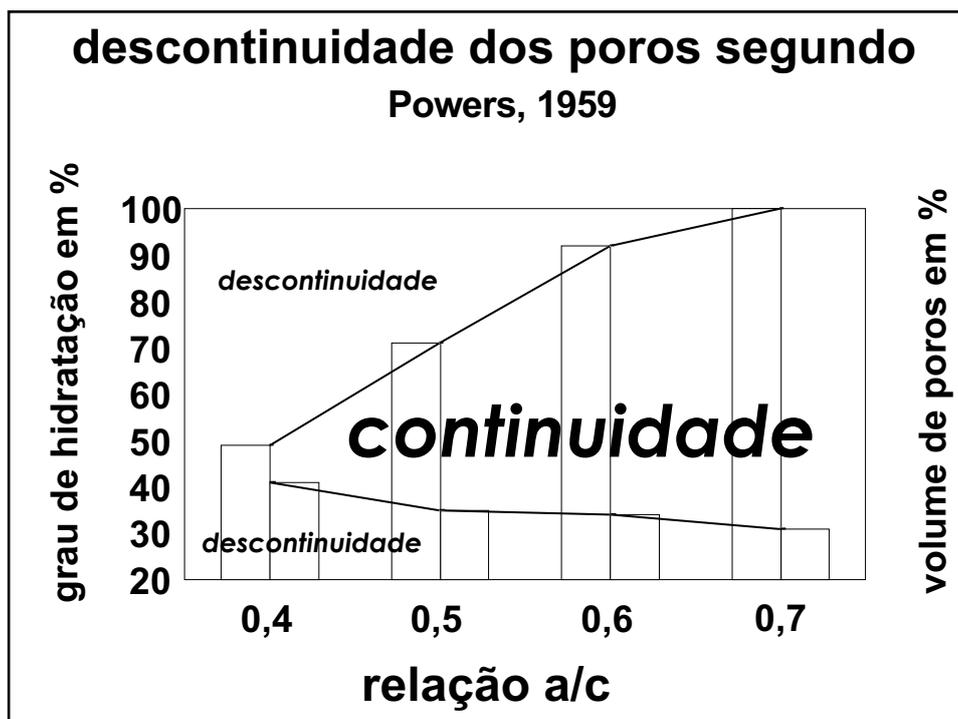
Zona de Transição versus Durabilidade

***“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***

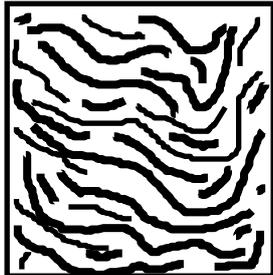
8



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	w_{cap} = 0.18	9.0
17.9	w_{gel} = 0.18		w_{gel} = 0.14	
	w_{ch} = 0.22		solid p.=0.35	17.2
11.5	c = 0.32		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

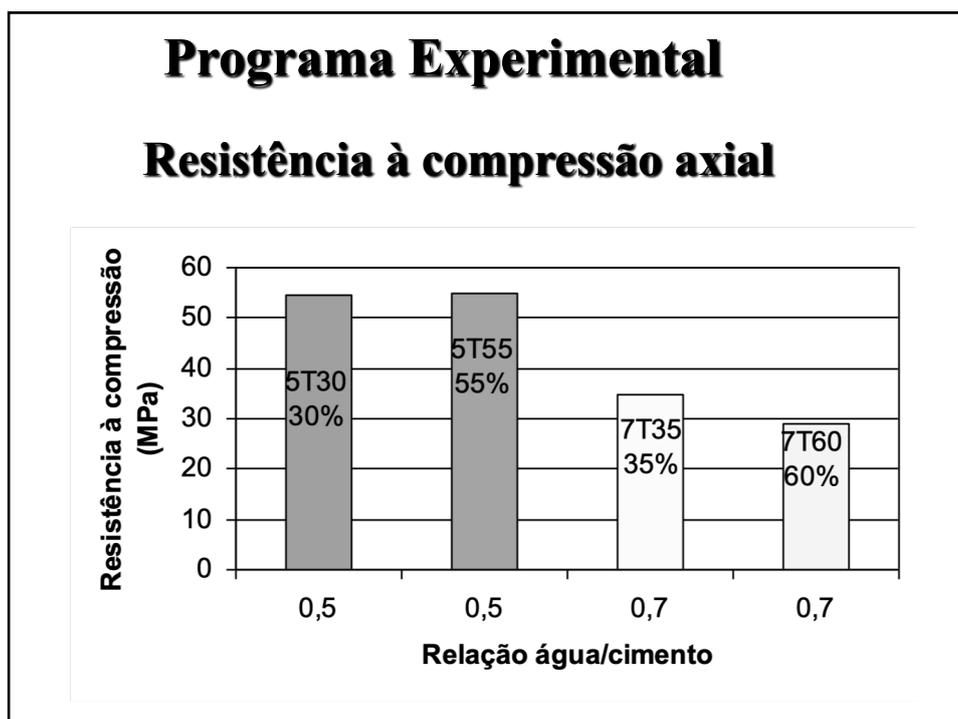
Programa Experimental

<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

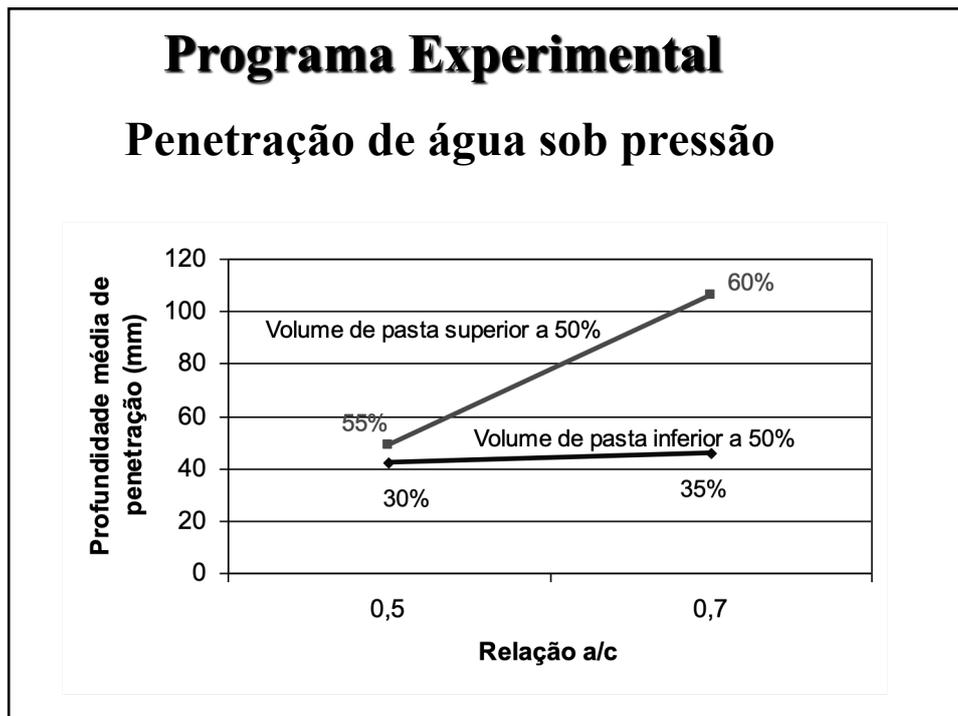
15

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

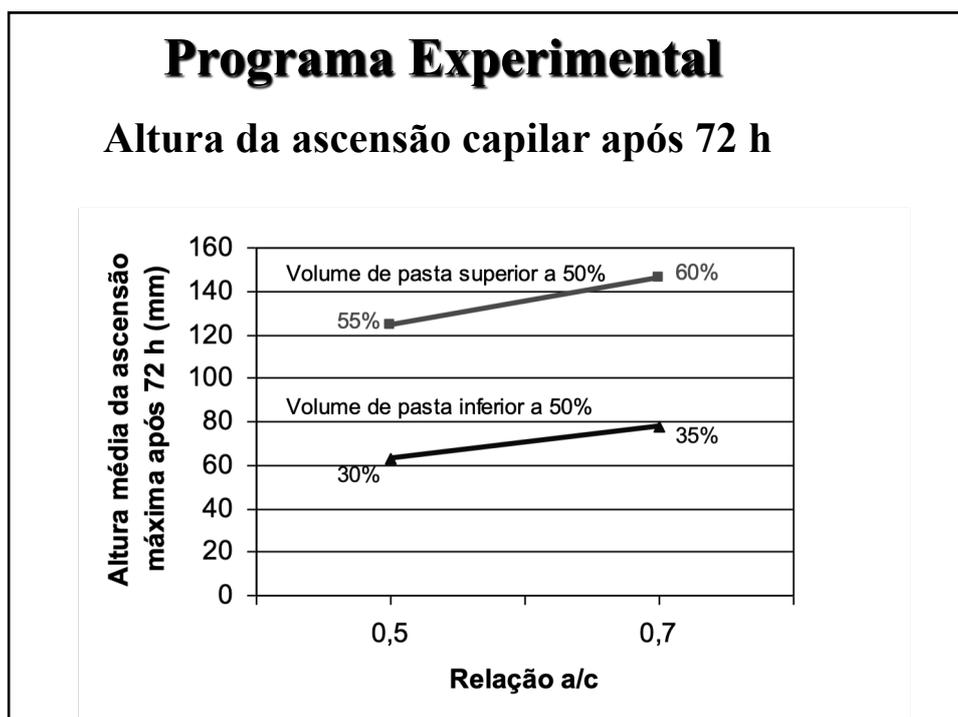
16



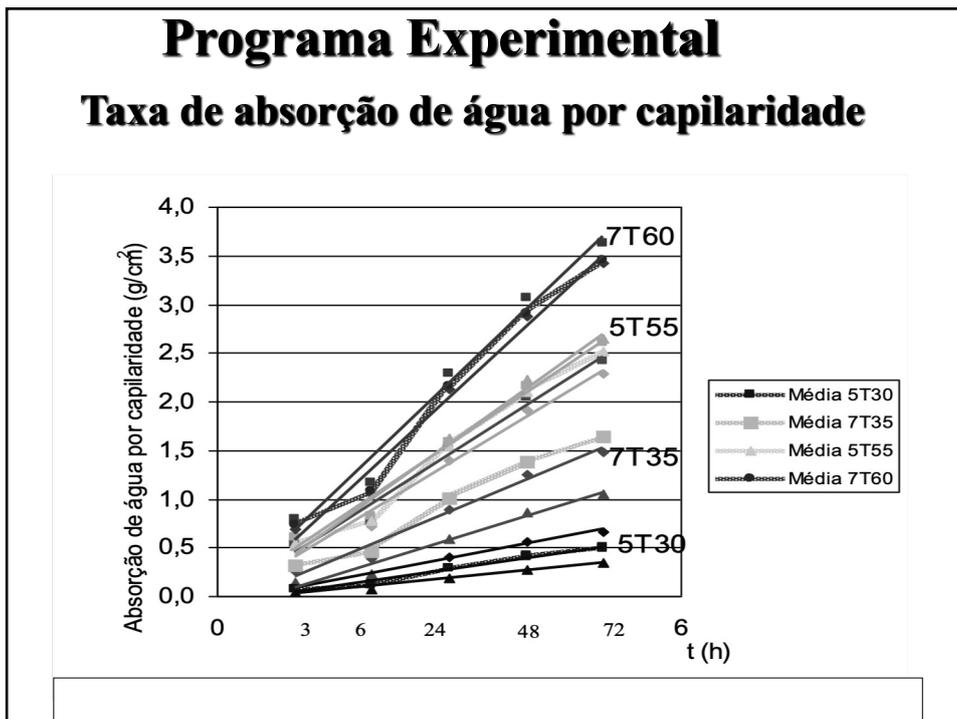
17



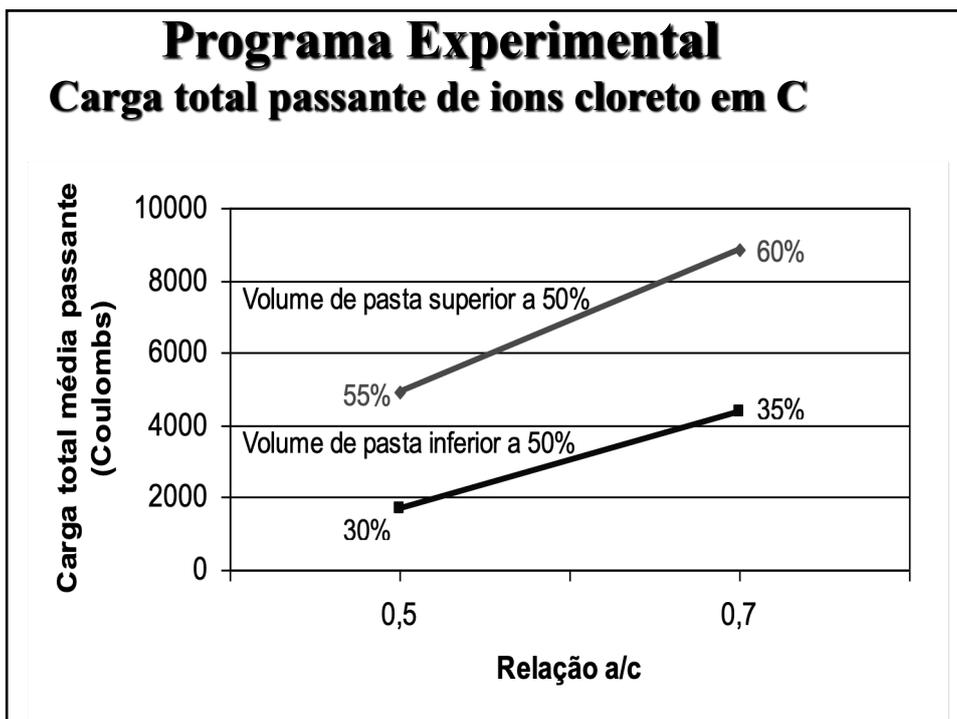
18



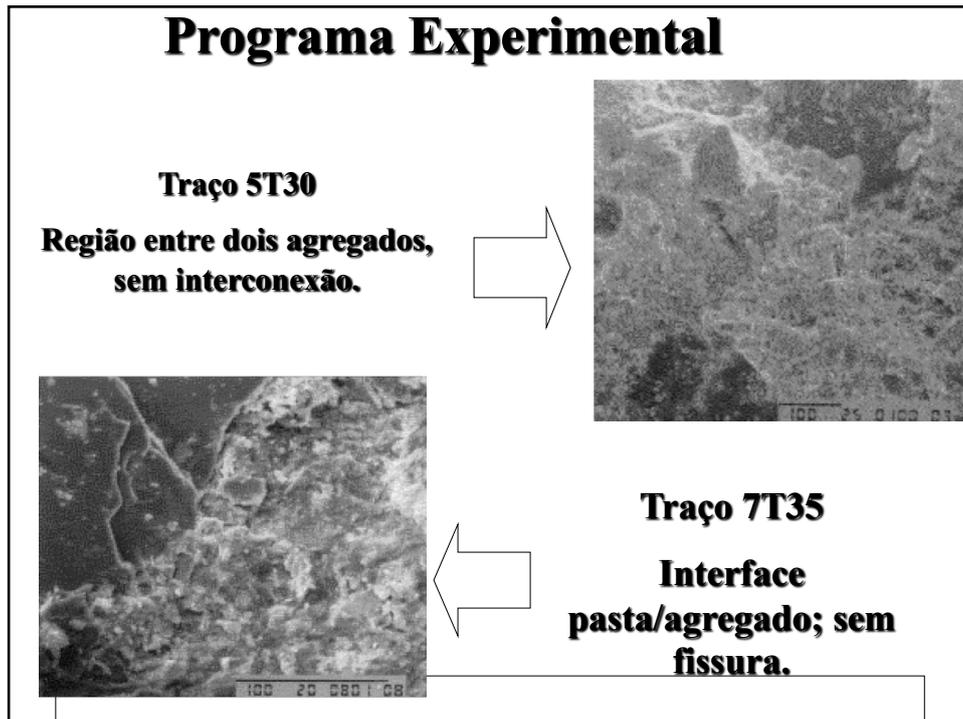
19



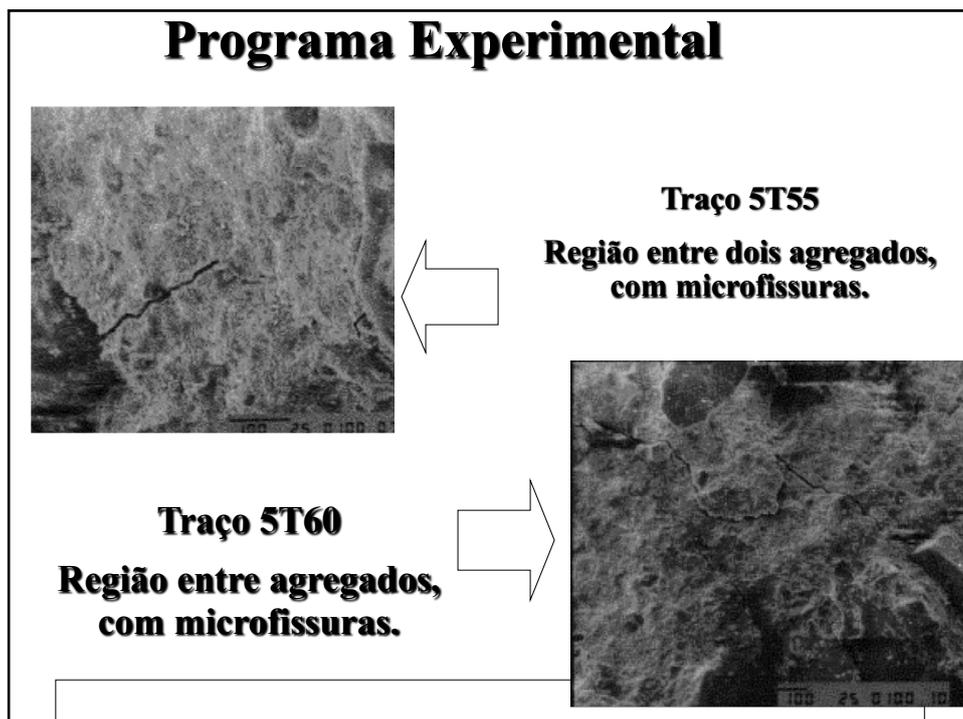
20



21

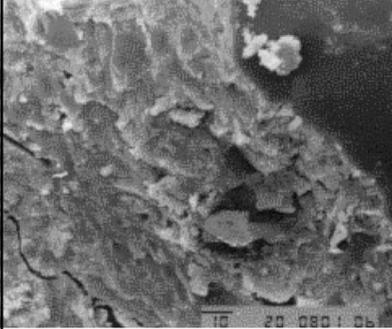


22



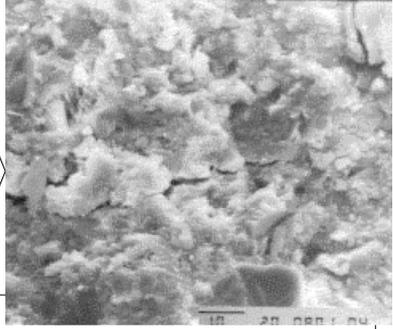
23

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%

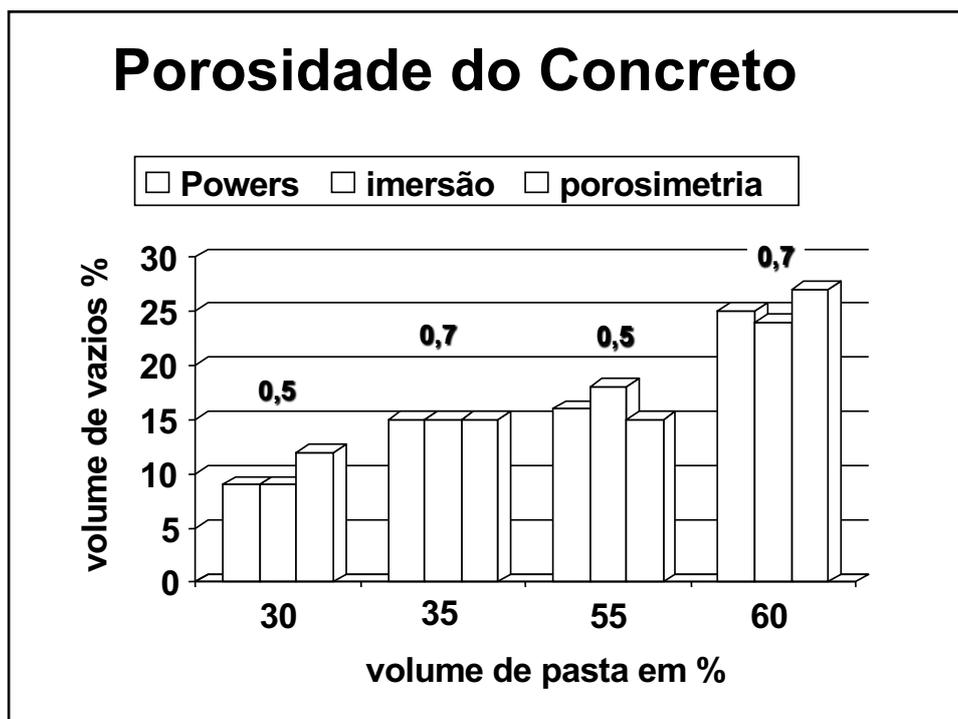
26

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

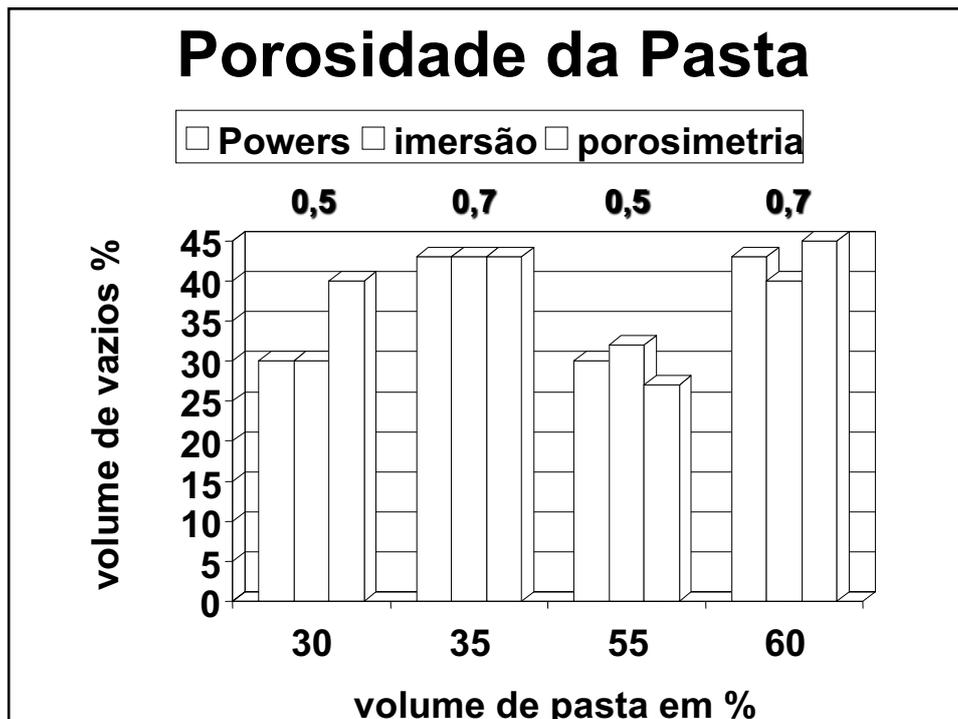


29

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.**