

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1– Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos ao longo de toda a campanha experimental, desde a caracterização dos materiais até aos ensaios nos betões. Os resultados serão apresentados pela mesma ordem descrita na campanha experimental, começando pela caracterização dos materiais utilizados no Sub-Capítulo 4.2, definição das curvas de referência dos agregados finos e grossos no Sub-Capítulo 4.3, estudos em argamassas no Sub-Capítulo 4.4 e por fim os estudos em betões no Sub-Capítulo 4.5.

4.2– Caracterização dos materiais utilizados

4.2.1– Ligantes

Neste Sub-Capítulo apresenta-se no Quadro 4.1 a massa volúmica obtida para o ligante utilizado neste trabalho, o Cimento Portland (CEM I 42,5R).

Quadro 4.1 – Massa volúmica do CEM I 42,5R

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Ligante	CEM I 42,5R	3140

4.2.2– Adições minerais do tipo I

A adição mineral do tipo I escolhida para este trabalho foi o fíler calcário. No Quadro 4.2 é apresentado o resultado obtido no ensaio de determinação da massa volúmica para este material.

Quadro 4.2 – Massa volúmica do Fíler Calcário

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Fíler calcário	Micro 100 AB	2720

4.2.3– Agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados grossos e dos agregados finos incluíram a determinação da massa volúmica, a determinação da absorção de água e a análise granulométrica.

No Quadro 4.3 são apresentados os resultados obtidos dos ensaios de determinação da massa volúmica e de absorção de água. A análise granulométrica dos agregados é apresentada no Quadro 4.4, sendo esta representada graficamente na Figura 4.1.

Quadro 4.3 – Massa volúmica e Absorção de água das areias

Material (Designação comercial)	Massa Volúmica [kg/m ³]	Absorção de água
Areia 0/2	2640	A _{a1} %=0,79
Areia 0/4	2610	A _{a2} %=0,52
Brita 3/6	2710	A _{g1} %=0,15
Brita 6/15	2700	A _{g2} %=0,14

Quadro 4.4 – Análise granulométrica dos agregados

Peneiro	Malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	Brita 6/15
		Percentagem acumuladas de material que passa nos peneiros			
3"	76,20	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) 2"	(*)50,80	100,00	100,00	100,00	100,00
1" 1/2	38,10	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) 1"	(*)25,40	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,10	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) 1/2"	(*)12,70	100,00	100,00	100,00	86,90
3/8"	9,52	100,00	100,00	100,00	48,48
nº 4	4,76	100,00	98,48	61,61	5,10
nº 8	2,38	99,94	94,23	5,20	2,58
nº 16	1,190	99,51	78,40	1,13	2,10
nº 30	0,590	82,79	40,43	0,49	1,62
nº 50	0,297	20,53	5,91	0,30	1,05
nº 100	0,149	1,24	0,44	0,20	0,60
nº 200	0,074	0,16	0,15	0,12	0,26
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura		1,960	2,821	5,311	6,385
(*) Série de peneiros secundária					
Peneiros para o cálculo do módulo de finura					

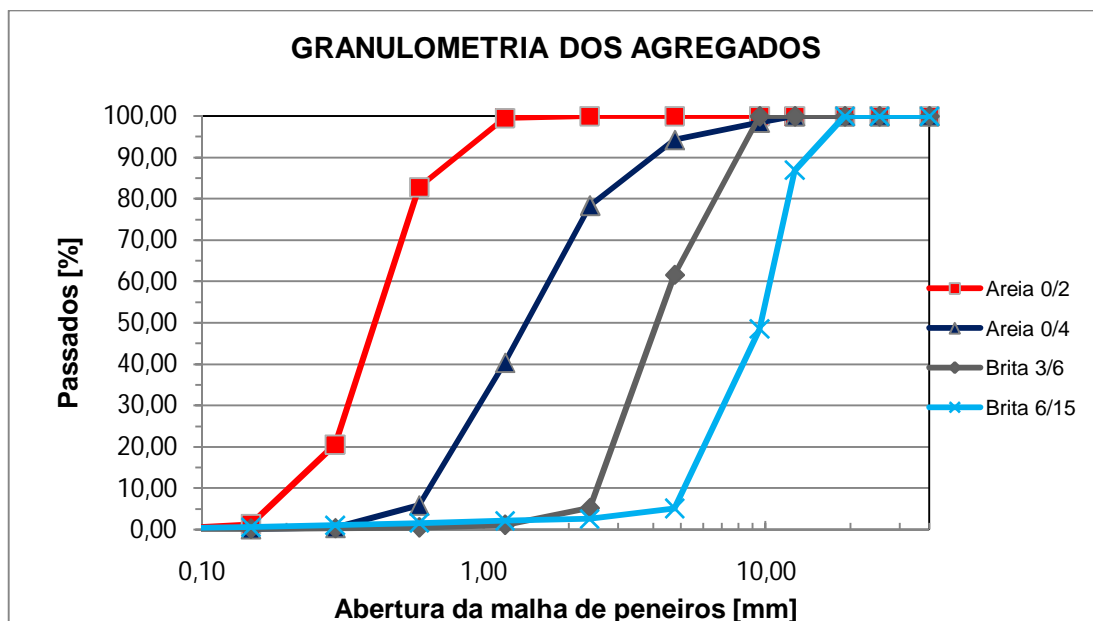


Figura 4.1 – Curvas granulométricas dos agregados

4.2.4– Adjuvantes

As características do superplastificante Sika Viscocrete 3005 produzido pela empresa SIKA são apresentadas no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Características do Superplastificante

Sika Viscocrete 3005	
Base	Policarboxilatos modificados
Aspecto	Líquido castanho claro
Massa volúmica	1,05 ± 0,02 Kg/l
pH (23 ± 2°C)	4,0 ± 1,0
Dosagem para SCC	1,0% a 1,4% da massa do cimento

4.3– Curvas de referência dos agregados

4.3.1– Curvas de referência dos agregados finos

No Quadro 4.6 são apresentados os resultados obtidos para a curva real. Na Figura 4.2 a curva real obtida é comparada graficamente com a curva de referência que Nepomuceno [13] propôs para os agregados finos.

Quadro 4.6 – Mistura da curva real e de referência dos agregados finos

Peneiro	malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Mistura (Curva Real)	Mistura (Curva Ref)	Erro médio percentual
		a1	a2			
		0,35	0,65			
Percentagem de passados						
3/6"	9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
N.º4	4,760	100,00	98,48	99,01	99,96	0,95
N.º8	2,380	99,94	94,23	96,23	99,12	2,90
N.º16	1,190	99,51	78,40	85,79	90,81	5,02
N.º30	0,590	82,79	40,43	55,26	62,30	7,04
N.º50	0,297	20,53	5,91	11,03	21,05	10,02
N.º100	0,149	1,24	0,44	0,72	4,72	4,00
N.º200	0,074	0,16	0,15	0,15	0,85	0,70
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura						
		1,960	2,821	2,520	2,220	3,403

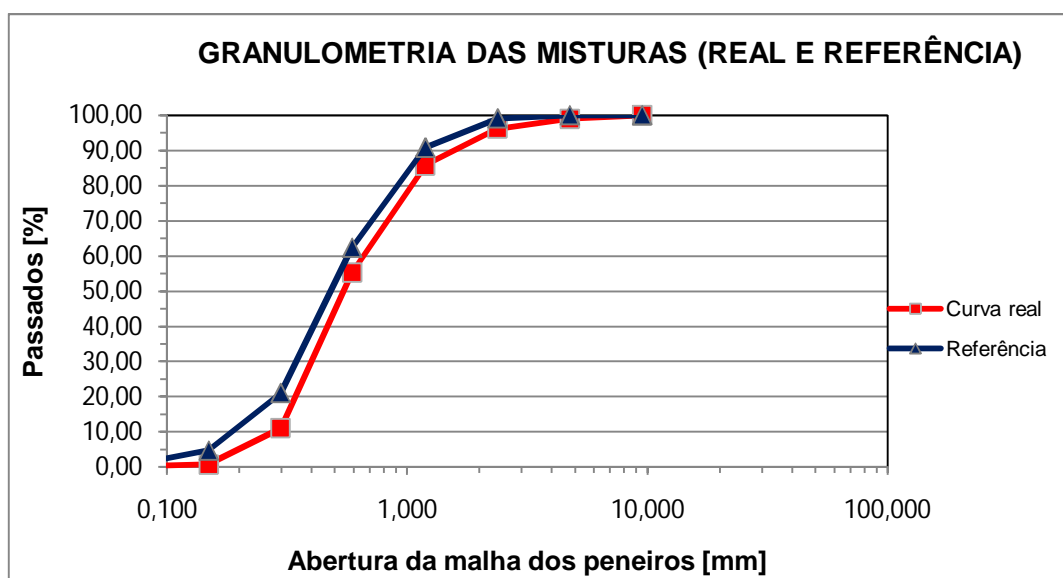


Figura 4.2 – Curvas granulométricas das misturas de agregados finos (real e de referência)

Observando a Figura 4.2 verifica-se que, para a associação de 35% de Areia 0/2 e 65% de Areia 0/4, as curvas real e de referência estão muito próximas. A pequena diferença entre as curvas de referência e real poderia ainda ser reduzida, mas optou-se por não aumentar excessivamente a Areia 0/2 na mistura. Por outro lado, havia indicações de que o módulo de finura

da mistura das areias entre 2,4 e 2,6 seria adequado para a produção de betões auto-compactáveis [12], pelo que se optou por utilizar esta associação de agregados finos.

4.3.2– Curvas de referência dos agregados grossos

Do mesmo modo que os agregados finos, no Quadro 4.7 são apresentados os resultados obtidos para a curva real dos agregados grossos. Na Figura 4.3 esta curva é comparada graficamente com a curva de referência que Nepomuceno [13] propôs para os agregados grossos.

Quadro 4.7 – Mistura da curva real e de referência dos agregados grossos

Peneiro	Abertura da malha (mm)	Brita 1/9	Brita 2/19	Mistura	Mistura	Erro médio percentual
		g1	g2	(Curva Real)	(Curva Ref)	
		0,55	0,45			
Percentagem de passados						
1"1/2	38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
(*) 1"	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
¾"	19,100	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	12,700	100,00	86,90	94,10	94,57	0,47
3/6"	9,520	100,00	48,48	76,82	74,90	1,92
N.º4	4,760	61,61	5,10	36,18	36,54	0,36
N.º8	2,380	5,20	2,58	4,02	5,99	1,96
N.º16	1,190	1,13	2,10	1,56	2,24	0,68
N.º30	0,590	0,49	1,62	1,00	1,31	0,31
N.º50	0,297	0,30	1,05	0,64	0,79	0,15
N.º100	0,149	0,20	0,60	0,38	0,50	0,11
N.º200	0,074	0,12	0,26	0,19	0,28	0,09
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura						
		5,311	6,385	5,794	5,777	0,465

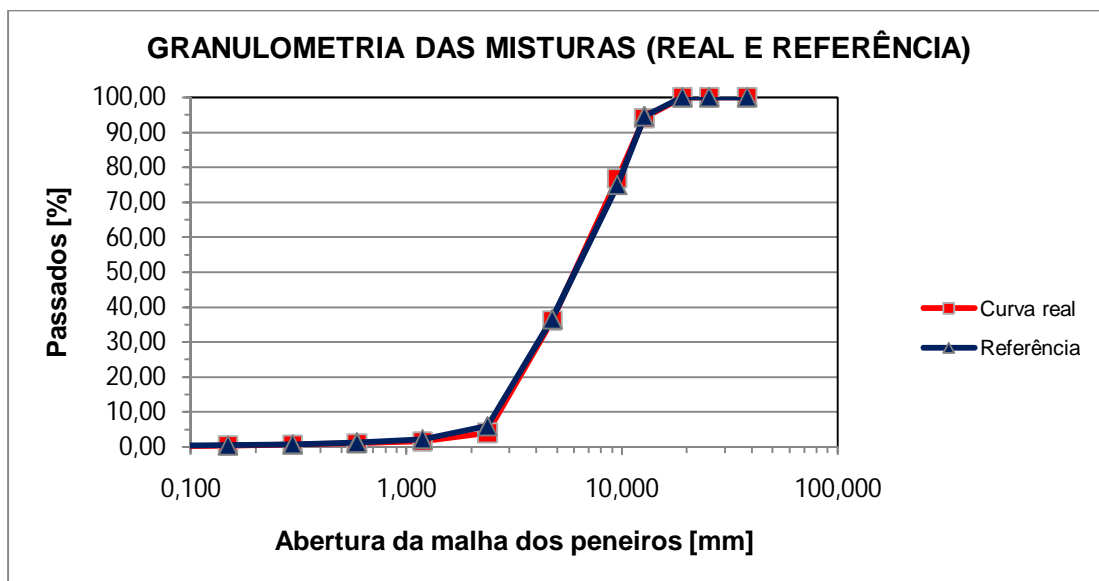


Figura 4.3 – Curvas granulométricas das misturas de agregados grossos (real e de referência)

Observando a Figura 4.3 podemos notar que, para a associação de 55% de Brita 3/6 e 45% de Brita 6/15, as curvas real e de referência são quase coincidentes. Esta afirmação é confirmada também pelo módulo de finura, que é quase idêntico para as duas misturas.

4.4– Estudos em argamassas

4.4.1– Introdução

No estudo das argamassas, o objectivo seria atingir as propriedades reológicas definidas anteriormente partindo de uma argamassa em que os parâmetros já foram definidos no Capítulo 3. Assim, para a família de finos em estudo, foram elaboradas argamassas até que se verificassem as propriedades reológicas pretendidas. Por fim, a argamassa que mais se aproximou dos requisitos reológicos foi colocada em moldes para posteriormente ser ensaiada à compressão. Para identificar as argamassas foram criados códigos de identificação das amostras. Por exemplo, A.RF.55.I.FC.0,80.1, significa que é uma argamassa produzida por Rui Franco, que conduz a um betão com uma resistência à compressão de 55 MPa, com cimento tipo I 42,5R como ligante e fíler calcário como adição, $V_p/V_s=0,80$ e amassadura nº1. Em anexo (Anexo A.1.1) estão apresentadas as folhas de cálculo (Excel) utilizadas para o cálculo das composições das argamassas.

4.4.2– Ensaio das argamassas no estado fresco

Para a família de finos em estudo (40% de CEM I 42,5 e 60% de Fíler Calcário), foi apenas necessário proceder à elaboração de três argamassas para se concluir quais os parâmetros que levariam ao comportamento reológico pretendido. No Quadro 4.8 estão apresentados os resultados obtidos das três argamassas enquanto na Figura 4.4 se ilustram os resultados dos parâmetros reológicos.

Quadro 4.8 – Síntese dos resultados obtidos para a família de finos em estudo

ARGAMASSAS														
IDENTIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	MISTURA DE FINOS	W/C	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	Vp [m ³ /m ³]	C [Kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	d1 [mm]	d2 [mm]	t [s]	Gm	Rm
A.RF.55.I.FC.0,80.1	40C1+60FC	0,57	0,8	0,7	0,3	0,338	424,6	236,6	2,79	189	192	12,69	2,63	0,79
A.RF.55.I.FC.0,80.2					0,4	0,338	424,2	236,4	3,72	282	279	7,73	6,87	1,29
A.RF.55.I.FC.0,80.3					0,35	0,338	424,4	236,5	3,25	230	231	9,31	4,31	1,07

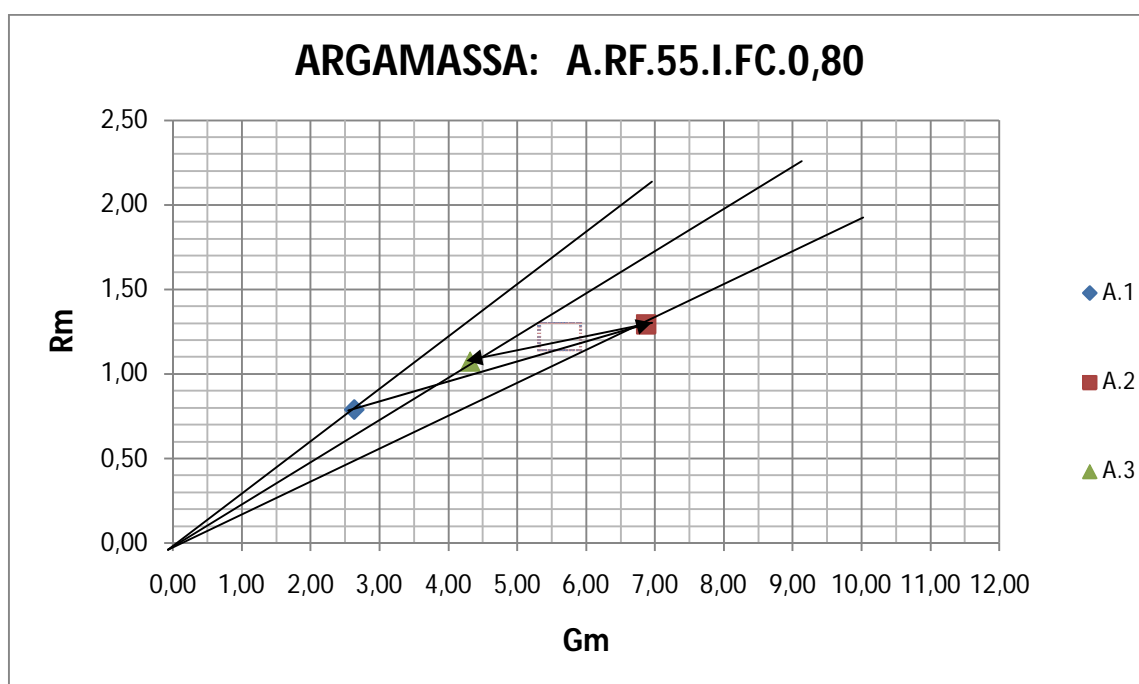


Figura 4.4 – Resultados dos parâmetros reológicos das três argamassas

Ao traçar uma recta na Figura 4.4 que passe pela origem e pelo primeiro ponto (correspondente à argamassa 1), percebe-se que para tentar deslocá-lo para dentro do rectângulo, o parâmetro a ser alterado é o Sp/p%, conforme a Figura 3.4 do Capítulo 3. Ao fim da terceira argamassa, é explícito que o valor de Sp/p% que conduz às propriedades reológicas pretendidas deverá situar-se entre os 0,35% e os 0,40%, sendo estimado em 0,380%. Por sua vez, o valor do parâmetro Vw/Vp deverá ser de 0,70. Para avaliar a resistência à compressão utilizou-se a argamassa A3 (A.RF.55.I.FC.0,80.3), com Vw/Vp=0,70 e Sp/p%=0,35.

4.4.3– Ensaio das argamassas no estado endurecido

No Quadro 4.9 é apresentado o valor médio da resistência à compressão para a argamassa que mais se aproximou dos parâmetros reológicos requeridos, ou seja, a argamassa A.3 (A.RF.55.I.FC.0,80.3).

Quadro 4.9 – Resultados da resistência à compressão aos 28 dias

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS	
(PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)	
Identificação	Tensão de rotura à compressão aos 28 dias
Argamassa N.º	Valor médio [MPa]
A.RF.55.I.FC.0,80.4	50,47

4.5– Estudos em Betões

Para identificar os betões foram igualmente criados códigos de identificação das amostras. Por exemplo, BAC.RF.55.I.0,80.2,30.1, significa que é um betão auto-compactável produzido por Rui Franco, com uma resistência à compressão de 55 MPa, com cimento tipo I 42,5R como ligante, $V_p/V_s=0,80$, $V_m/V_g=2,30$ e amassadura nº1. Em anexo estão apresentadas as folhas de cálculo (Excel) utilizadas para o cálculo das composições dos betões.

4.5.1– Ensaio dos betões no estado fresco

No Quadro 4.12 são apresentados os resultados dos ensaios realizados ao betão no estado fresco, nomeadamente, espalhamento, Funil-V e Caixa-L e as respectivas correcções efectuadas nas misturas.

4.5.2– Ensaio dos betões no estado endurecido

Os resultados dos ensaios de compressão realizados aos provetes dos betões aos 7 dias e aos 28 dias estão apresentados nos Quadros 4.10 e 4.11, respectivamente.

Quadro 4.10 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 7 dias

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BETÕES	
(PROVETES CÚBICOS DE 150 mm DE ARESTA)	
Identificação	Tensão de rotura à compressão aos 7 dias
Betão N.º	Valor médio [MPa]
BAC.RF.55.I.0,80.2,40	47,73
BAC.RF.55.I.0,80.2,30	45,04
BAC.RF.55.I.0,80.2,20	48,33
BAC.RF.55.I.0,80.2,10	48,92

Quadro 4.11 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BETÕES	
(PROVETES CÚBICOS DE 150 mm DE ARESTA)	
Identificação	Tensão de rotura à compressão aos 28 dias
Betão N.º	Valor médio [MPa]
BAC.RF.55.I.0,80.2,40	57,01
BAC.RF.55.I.0,80.2,30	53,33
BAC.RF.55.I.0,80.2,20	56,24
BAC.RF.55.I.0,80.2,10	55,96

Quadro 4.12 – Resultados dos ensaios realizados ao betão no estado fresco e respectivas correcções

Identificação do Betão	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Situação inicial					Correcções da mistura		Ensaio do betão fresco								
				Valores calculados		Parâmetros iniciais			(para 25 litros de betão)		Espalhamento		Fluidez		Caixa-L				
				W	Sp	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	ΔW	ΔSp	Dm	Gc	t	Rc	H2/H1				
				[litros]	[litros]				[litros]	[litros]	[mm]		[s]	[s ⁻¹]	R1	R2	R3	R4	
BAC.RF.55.I.0,80.2,40.1	0,8	2,4	1,92	161,90	2,42	0,70	0,38	0,557	0,030	0,0143	655,5	9,74	12,66	0,79				0,83	
BAC.RF.55.I.0,80.2,40.2	0,8	2,4	1,92	161,90	2,42	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	664,5	10,04			0,78				
BAC.RF.55.I.0,80.2,40.3	0,8	2,4	1,92	161,90	2,42	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	666,5	10,11					0,90		
BAC.RF.55.I.0,80.2,40.4	0,8	2,4	1,92	161,90	2,42	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	608,5	8,26				0,77			
BAC.RF.55.I.0,80.2,30.1	0,8	2,3	1,84	159,85	2,39	0,70	0,38	0,557	0,040	0,0238	705	11,43	13,70	0,73				0,88	
BAC.RF.55.I.0,80.2,30.2	0,8	2,3	1,84	159,85	2,39	0,70	0,38	0,557	0	0,0048	677	10,46			0,80				
BAC.RF.55.I.0,80.2,30.3	0,8	2,3	1,84	159,85	2,39	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	695	11,08					0,91		
BAC.RF.55.I.0,80.2,30.4	0,8	2,3	1,84	159,85	2,39	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	705	11,43				0,85			
BAC.RF.55.I.0,80.2,20.1	0,8	2,2	1,76	157,68	2,35	0,70	0,38	0,557	0,040	0,0119	637	9,13	11,25	0,89				0,80	
BAC.RF.55.I.0,80.2,20.2	0,8	2,2	1,76	157,68	2,35	0,70	0,38	0,557	0	0,0119	665	10,06			0,77				
BAC.RF.55.I.0,80.2,20.3	0,8	2,2	1,76	157,68	2,35	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	660	9,89					0,83		
BAC.RF.55.I.0,80.2,20.4	0,8	2,2	1,76	157,68	2,35	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	616	8,47				0,78			
BAC.RF.55.I.0,80.2,10.1	0,8	2,1	1,68	155,37	2,32	0,70	0,38	0,557	0,045	0,0238	697	11,13	13,16	0,76				0,92	
BAC.RF.55.I.0,80.2,10.2	0,8	2,1	1,68	155,37	2,32	0,70	0,38	0,557	0	0,0095	613	8,39			0,71				
BAC.RF.55.I.0,80.2,10.3	0,8	2,1	1,68	155,37	2,32	0,70	0,38	0,557	0	0,0048	608	8,23					0,77		
BAC.RF.55.I.0,80.2,10.4	0,8	2,1	1,68	155,37	2,32	0,70	0,38	0,557	0	0,0048	623	8,70				0,71			