

5 Resultados e Discussões

5.1. Considerações preliminares

Este capítulo é dedicado à apresentação e discussão de alguns resultados gerados, a partir da utilização integrada do modelo GESTOR e dos modelos DR e EAF, já detalhados no capítulo anterior. Primordialmente, pretende-se verificar se estes resultados são coerentes e consistentes, bem como, se os modelos, em questão, estão de fato desempenhando o papel e as funcionalidades para os quais foram desenvolvidos e programados.

De uma maneira geral, não se espera que haja generalização das informações e dos resultados obtidos, a partir da aplicação do pacote computacional, criado neste trabalho. Em outras palavras, a metodologia a ser adotada, caracteriza-se por ser válida apenas para cada situação operacional, em foco. Conseqüente e inevitavelmente, precisa-se assumir uma série de premissas, para a condução de cada investigação. Sendo assim, é conveniente fazer-se uso de estudos de caso, com objetivos claros do que se deseja, efetivamente, analisar.

5.2. Proposição de um estudo de caso

Por razões didáticas e em linha com os propósitos colocados na seção 5.1, definiu-se por explorar e se restringir à apresentação de apenas um estudo de caso. Através deste, objetivou-se avaliar a eficácia da ferramenta computacional na definição de uma composição de carga de pelotas de minério de ferro, economicamente viável para uma planta de redução direta, que atenda a todos os parâmetros, requisitos, restrições estabelecidos para a fabricação de um dado aço líquido, com utilização de ferro-esponja. Como primeira premissa, deve-se considerar que ambas as operações de RD e de FEA são hipotéticas.

Definiu-se que dois tipos de pelotas estariam em jogo, distinguindo-se, unicamente, pelo seu teor de sílica. Conseqüentemente, isto também impacta o seu conteúdo em ferro total, conforme sumarizado na tabela 21. Sobre as pelotas consideradas na requerida tabela, deve-se ainda observar e assumir, para efeito de estudo, que:

- a composição química destas pelotas é, tipicamente, muito próxima às pelotas, comumente, utilizadas no mercado de redução direta;
- estas pelotas serão adquiridas de um mesmo fornecedor hipotético;
- considerou-se que estas pelotas serão produzidas a partir de um mesmo tipo de concentrado;
- o preço da unidade de ferro (em ¢US\$/dm³) será assumido como sendo o mesmo para qualquer uma das pelotas em consideração, conforme equação (30), constante na seção 3.5.1.

Tabela 21 – Informações sobre as pelotas de minério de ferro em estudo.

Item de qualidade	Unidade	Pelota A	Pelota B
Fe	% em peso	67,90	67,55
FeO	% em peso	0,17	0,17
CaO	% em peso	0,80	0,80
SiO ₂	% em peso	1,25	1,75
Al ₂ O ₃	% em peso	0,45	0,45
MgO	% em peso	0,15	0,15
P	% em peso	0,040	0,040
Outros	% em peso	0,105	0,105
H ₂ O	% em peso	1,0	1,0
Finos (-6,3mm)	% em peso	2,5	2,5
Degradação sob redução (-3,15mm)	% em peso	1,5	1,5
Unidade de ferro	¢US\$/dmtu	123,00	123,00
Preço da pelotas	US\$/t PELOTA	83,52	83,09

- considera-se, hipoteticamente, que, independente do teor de sílica, o comportamento das pelotas, sob o ponto de vista de redutibilidade é basicamente o mesmo;
- industrialmente, tanto a pelota A quanto a B, respondem à inclinação da curva plotada, na figura 47 — objeto de discussão na seção 3.5.4 — onde cada 1% a mais de metalização é alcançado, a partir de uma perda de produtividade da ordem de 2,5%;

O uso de 100% de pelota A no carregamento do módulo de RD foi assumido como referência e sua gradual substituição pela pelota B — de mais alta sílica e, portanto, de menor preço — ficou a critério do GESTOR, objetivando um menor custo de produção do DRI, para carregamento do FEA. Uma consideração importante para a produção deste pré-reduzido é em relação ao seu custo de produção, pela planta de redução direta, não podendo ultrapassar um valor, acima do qual, a aciaria elétrica não estaria disposta a absorvê-lo, para não comprometer um custo máximo, fixado através do GESTOR, para a obtenção de um determinado aço líquido.

A tabela 22 traz informações sobre o que se objetivou para a qualidade do ferro-esponja a ser produzido, previamente estabelecido através dos parâmetros do GESTOR.

Tabela 22 – Parâmetros pré-estabelecidos para o ferro-esponja a ser produzido.

Parâmetro	Unidade	Valores		
		Objetivo	Mínimo	Máximo
Metalização	%	94,0	94,0	94,0
Teor de carbono	% em peso	1,80	1,80	1,80
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	% em peso	1,45	1,25	1,90
CaO	% em peso	0,8	-	1,10

Ainda com o intuito de caracterização deste estudo de caso, partiu-se, complementarmente, para a adoção das seguintes premissas:

- as vendas estão limitadas pela produção, ou seja, o mercado está aquecido, em termos de vendas de produtos siderúrgicos;
- as plantas de RD e de fabricação de aço estão trabalhando em seu limite de capacidade para atender o mercado;
- não há alterações de espécie alguma — nem para mais, nem para menos — na produtividade de cada uma destas duas etapas, seja em função de uma maior participação de pelota com sílica mais elevada, seja devido a uma maior quantidade de ferro-esponja no carregamento da aciaria;
- a planta de redução direta e a aciaria elétrica pertenceriam a uma mesma empresa ou grupo empresarial;
- a planta de redução direta e a aciaria elétrica estariam situadas em uma mesma localidade geográfica;
- desconsiderou-se o custo com frete para transporte de pelotas, assumindo-se que o fornecedor de pelotas estaria nas adjacências da planta de RD;
- o fornecedor de pelotas não faz parte do mesmo grupo da empresa siderúrgica. Logo, as pelotas são adquiridas a preço de mercado, do referido fornecedor;
- todo o DRI consumido pela aciaria elétrica é fornecido cativamente, pela planta de redução direta;
- não há, comercialmente, nenhuma aquisição de DRI junto ao mercado;
- a planta de redução direta estaria unicamente produzindo um pré-reduzido descarregado a frio, que é peneirado na descarga do módulo;
- todo o material fino obtido a partir do peneiramento de DRI serão briquetados a frio;
- tanto o DRI peneirado quanto os briquetes a frio de finos de ferro-esponja são diretamente e imediatamente encaminhados para utilização pela aciaria elétrica;
- não há nenhuma perda de metalização entre a planta de redução e a aciaria;
- os preços das matérias-primas e dos insumos considerados nestes estudos de caso tanto na planta RD quanto na aciaria são valores essencialmente ilustrativos;
- não estão sendo utilizados gusa sólido e gusa líquido como complemento de carga metálica para o FEA;

- Um “mix” de sucatas de diferentes qualidades, origens e preços foi inicialmente considerado e determinado pelo modelo EAF (tabela 23). Como elucidado nesta tabela, o “mix” a ser calculado deve respeitar a composição química do aço líquido, que se deseja produzir;
- sendo considerada uma operação do FEA, com 100% de sucata, na etapa de inicialização do modelo GESTOR;
- produção de um aço líquido vazado, a partir do FEA, cuja especificação dispensa aquisição de elementos de ligas até o referido vazamento;

Tabela 23 – Definição e características químicas da carga metálica para o FEA.

MATERIAL Name ...	Cost US\$/t	Metal degree %	CHEMISTRY %																		
			Fe	C	Mn	P	S	Ni	Cu	Al	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅				
Caçaco de Ferro	145,30	✓	85,94	3,480	2,500	0,077	0,057									2,000	3,000	1,000	1,000	1,000	
Caçaco de Aço	120,62	✓	85,82	0,170	0,120	0,360	0,070	0,250	0,018	0,070	0,250	0,200	0,018	0,070	0,250	0,200	0,018	0,070	0,250	0,200	1,000
Estamparia Branca S	242,89	✓	96,84	0,040	0,030	0,350	0,070	0,200	0,018	0,015	0,070	0,200	0,015	0,070	0,250	1,400	1,000	1,000	0,800		
Estamparia Preta So	262,47	✓	96,84	0,040	0,020	0,350	0,040	0,030	0,016	0,013	0,030	0,040	0,016	0,030	0,040	1,400	0,500	0,500	0,500	0,500	0,300
Ferro Fundido	162,50	✓	93,09	3,480	1,200	0,500	0,077	0,057	0,077	0,057						0,300	0,500	0,500	0,400		
Fonjada/Retalho	252,49	✓	97,43	0,230	0,090	0,600	0,030	0,030	0,018	0,037	0,030	0,050	0,018	0,037	0,030	0,800	0,500	0,500	0,300		
Mitida	227,26	✓	90,82	0,170	0,120	0,600	0,070	0,100	0,018	0,037	0,100	0,400	0,018	0,037	0,100	2,300	2,000	2,000	1,000	1,000	1,000
Discortada	220,21	✓	94,61	0,170	0,120	0,360	0,070	0,250	0,018	0,037	0,200	0,200	0,018	0,037	0,200	1,800	1,000	1,000	1,000		
Recuperada de Aço	200,00	✓	96,06	0,300	0,100	0,500	0,070	0,070	0,015	0,030	0,070	0,120	0,015	0,030	0,070	1,000	1,000	1,000	0,500		
Retorno Interno	200,00	✓	98,34	0,200	0,100	0,500	0,050	0,050	0,015	0,020	0,050	0,060	0,015	0,020	0,050	0,600	0,200	0,200	0,100		
Sucata de Gusa	191,98	✓	92,41	3,500	1,200	0,500	0,160	0,100	0,160	0,100			0,160	0,100		0,600	0,500	0,500	0,500	0,500	
Shredded	268,23	✓	95,22	0,170	0,120	0,600	0,070	0,050	0,018	0,037	0,050	0,100	0,018	0,037	0,050	2,300	1,000	1,000	1,000		
			100,00																		

METALIC CHARGE				STEEL CHEMISTRY					
% min	% MAX	Material	% specified	Cost, US\$/t	Charging temp., C	% min	% MAX	Element	% Achieved
3	100	Caçaco de Ferro			26	97,000 0	99,000 0	Fe	96,405 0
3	100	Caçaco de Aço			26	0,000 0	0,400 0	Si	0,008 1
2	100	Estamparia Branca Solta			26	0,000 0	0,400 0	Mn	0,038 5
2	100	Estamparia Preta Solta			26	0,150 0	0,250 0	C	0,200 0
3	100	Ferro Fundido			26	0,000 0	0,011 0	P	0,010 9
3	100	Fonjada/Retalho			26	0,000 0	0,010 0	S	0,008 0
3	100	Mitida			26	0,000 0	0,110 0	Ni	0,093 3
3	100	Discortada	41,71	102,29	26	0,000 0	0,300 0	Cu	0,084 2
1	1	Recuperada de Aço	1,00	2,23	26	0,000 0	0,150 0	Cr	0,116 3
1	1	Retorno Interno	1,00	2,23	26	0,000 0	0,020 0	Sn	0,014 0
3	100	Sucata de Gusa	56,29	120,37	26				
3	100	Shredded			26				
0	10	Hot Metal			1 300				
10	10	Pig Iron			20				
0	100	D.P.L.			50				
0	100	H.B.I.			26				
%Σ	40	1222	100,00	227,11		%Σ	97,150 0	100,651 0	98,989 3

- o preço de venda do aço a ser produzido foi arbitrado em US\$500,00/t;
- os custos fixos das operações de RD e de FEA também foram arbitrados;
- o consumo de energia elétrica foi definido para estar, no máximo, em 450 kWh/t de aço líquido;
- o valor máximo do custo específico de produção do aço líquido foi definido em 330,0 US\$/t de aço líquido;
- considerou-se, para as demais matérias-primas e insumos empregados, os preços mostrados na tabela 24.

Tabela 24 – Preços considerados neste estudo de caso para as demais matérias-primas e insumos.

Matérias-primas E insumos	Unidade	Planta de RD	Aciaria elétrica
Sucatas de aço	US\$/t	-	de 145 a 270 (tabela 23)
Eletricidade	US\$/t	0,035	0,035
Gás natural	US\$/Nm ³	0,050	0,050
Oxigênio	US\$/Nm ³	0,129	0,129
Cal	US\$/t	-	176,00
Dolomita	US\$/t	-	206,00
Finos de carvão	US\$/t	-	284,00
Eletrodos	US\$/kg	-	3,80
Refratário	US\$/kg	-	0,88
Água	US\$/m ³	0,33	0,33
Fluorita	US\$/ton	-	371,00

5.3.

Análise dos resultados obtidos para o estudo de caso proposto

Ainda referente ao estudo de caso proposto, geraram-se as tabelas 25 e 26, mostradas a seguir, contendo os resultados obtidos para os processos de otimização, os quais foram solicitados ao GESTOR que minimizasse o custo específico de produção da aciaria elétrica para a fabricação de aço especificado, limitando-o em US\$330,00/t de aço líquido, como já dito. Neste trabalho, este custo também foi chamado de custo total unitário (CTU) e se encontra, matematicamente, definido pela equação (56).

Através das colunas de ambas as tabelas, observa-se que foi conduzida uma seqüência de 12 (doze) simulações, sendo que a de número 0 (zero) deve ser entendida como a etapa de inicialização, pelo GESTOR dos modelos DR e EAF. Convencionou-se que esta particular simulação — também considerada como posição inicial dos modelos DR e EAF — é a situação de referência do estudo em questão, onde o FEA é carregado com 100% de sucatas de aço e a produção do ferro-esponja faz-se, a partir de 100% de pelotas de sílica mais baixa, ou seja, a partir da pelota A, contendo 1,25%SiO₂.

Por outro lado, as simulações de número 13 e posteriores não puderam ser executadas, porque o consumo de energia elétrica ultrapassou o limite de 450 kWh/t de aço líquido, à medida que mais e mais DRI foi incorporado ao “mix” de carregamento do FEA. As simulações de 1 a 12 devem ser interpretadas como as sucessivas soluções viáveis, encontradas pelo GESTOR, para o carregamento e a operação das etapas de redução e de fabricação de aço líquido. Nota-se que, a cada cálculo executado pelo GESTOR, o DRI é, gradualmente, aumentado no FEA. Simultaneamente, o GESTOR sugere que, gradativamente, sejam utilizadas cada vez mais pelotas com 1,75%SiO₂, no módulo de RD. Como consequência disso e, conforme mostrado nas figuras 119 e 120, os respectivos custos totais unitários destas operações acabam sendo, favoravelmente, reduzidos.

Tabela 25 – Resultados obtidos a partir da utilização do modelo GESTOR no estudo de caso em pauta. Análise da planta de redução direta.

Parâmetros	Unidades	Número de Simulações													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
PRD	t ori/h	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2
Δ PRD	t ori/h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Consumo da pelota A (Referência)	kg/t ori	1389,73	1320,23	1250,62	1181,02	1111,44	1041,87	972,31	902,77	833,24	798,44	763,78	694,27	624,78	624,78
Consumo da pelota B	kg/t ori	0	69,49	138,96	208,42	277,86	347,29	416,7	486,11	555,49	590,15	624,91	694,27	763,62	763,62
Consumo específico de pelotas	kg/t ori	1389,73	1389,72	1389,58	1389,44	1389,3	1389,16	1389,01	1388,88	1388,73	1388,59	1388,69	1388,54	1388,4	1388,4
Participação da pelota A (Referência)	% em peso	100	95	90	85	80	75	70	65	60	57,5	55	50	45	45
Participação da pelota B	% em peso	0	5	10	15	20	25	30	35	40	42,5	45	50	55	55
Custo com a pelota A	US\$/t ORI	114,92	109,17	103,41	97,66	91,90	86,15	80,40	74,65	68,90	66,02	63,16	57,41	51,66	51,66
Custo com a pelota B	US\$/t ORI	0,00	5,72	11,43	17,15	22,86	28,57	34,28	39,99	45,70	48,55	51,41	57,12	62,82	62,82
Custo total com pelotas	US\$/t ORI	114,92	114,89	114,84	114,81	114,76	114,72	114,68	114,64	114,60	114,57	114,57	114,53	114,49	114,49
Δ custos com pelotas	US\$/t ORI	0,00	-0,03	-0,07	-0,11	-0,15	-0,20	-0,23	-0,27	-0,32	-0,34	-0,35	-0,39	-0,43	-0,43
OCV	US\$/t ORI	23,47	23,47	23,48	23,46	23,47	23,46	23,45	23,45	23,44	23,44	23,37	23,36	23,36	23,36
CVU	US\$/t ORI	136,39	136,36	136,32	136,27	136,23	136,18	136,13	136,09	136,04	136,01	137,94	137,89	137,85	137,85
Δ CVU	US\$/t ORI	0,00	-0,03	-0,07	-0,12	-0,16	-0,21	-0,26	-0,30	-0,35	-0,38	-0,45	-0,50	-0,54	-0,54
C _{VAR}	US\$/h	12482,78	12480,07	12476,46	12471,95	12468,35	12463,84	12459,33	12455,72	12451,21	12448,50	12444,19	12437,68	12434,07	12434,07
CTU = CTS/PRD	US\$/t ORI	163,34	163,31	163,27	163,22	163,18	163,13	163,08	163,04	162,99	162,96	162,89	162,84	162,80	162,80
Δ CTU	US\$/t ORI	0,00	-0,03	-0,07	-0,12	-0,16	-0,21	-0,26	-0,30	-0,35	-0,38	-0,45	-0,50	-0,54	-0,54
CTS	US\$/h	14733,27	14730,56	14726,95	14722,44	14718,84	14714,33	14709,82	14706,21	14701,70	14698,99	14692,68	14688,17	14684,56	14684,56
MCU = CTU - CVU	US\$/t ORI	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95
Δ MCU	US\$/t ORI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CTR	US\$/h	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49	2250,49
Δ CTR	US\$/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CMR	US\$/t ORI	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92	114,92
CMS	US\$/t ORI	114,92	114,89	114,84	114,81	114,76	114,72	114,68	114,64	114,60	114,57	114,57	114,53	114,49	114,49
Δ OCV	US\$/t ORI	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11
VEU	US\$/t ORI	114,92	114,92	114,91	114,93	114,92	114,93	114,94	114,94	114,95	114,95	115,02	115,03	115,03	115,03
Δ VEU do "blend" de pelotas A + B	US\$/t ORI	0,00	0,03	0,07	0,12	0,16	0,21	0,26	0,30	0,35	0,38	0,45	0,50	0,54	0,54
	US\$/t PELOTAS	0,00	0,02	0,05	0,09	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,27	0,32	0,36	0,39	0,39
Δ VEU da pelota B	US\$/t PELOTAS	-	0,31	0,36	0,41	0,41	0,44	0,45	0,44	0,45	0,46	0,52	0,52	0,51	0,51

Tabela 26 – Resultados obtidos a partir da utilização do modelo GESTOR no estudo de caso em pauta. Análise da operação de aciaria elétrica.

Parâmetros	Unidades	Número de Simulações													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
PRD	t aço líquido/h	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2	139,2
Δ PRD	t aço líquido/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Consumo de energia elétrica	kWh/t aço líquido	322,3	332,8	343,5	354,2	364,8	375,4	386,9	396,4	406,9	417,4	427,8	438,2	448,6	458,6
Consumo de sucatas no FEA	kg/t aço líquido	1108,69	1051,71	994,86	938,2	881,69	825,35	769,19	713,19	657,35	601,68	546,18	490,84	435,66	380,49
Consumo de DRI no FEA	kg/t aço líquido	0	55,35	110,54	165,56	220,42	275,12	329,65	384,02	438,24	492,29	546,18	599,91	653,49	707,02
Consumo de sucatas + DRI no FEA	kg/t aço líquido	1108,69	1107,06	1105,4	1103,76	1102,11	1100,47	1098,84	1097,21	1095,59	1093,97	1092,36	1090,75	1089,15	1087,54
Participação de sucatas na carga do FEA	% em peso	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
Participação de DRI na carga do FEA	% em peso	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Custo relativo ao "blend" de sucatas	US\$/t aço líquido	225,98	214,39	202,84	191,33	179,85	168,42	157,03	145,67	134,35	123,07	111,84	100,64	89,47	78,30
	US\$/t sucatas	203,83	203,85	203,89	203,93	203,99	204,06	204,15	204,25	204,38	204,54	204,77	205,04	205,37	205,75
	US\$/t aço líquido	0,00	9,04	18,05	27,02	35,97	44,88	53,76	62,61	71,43	80,22	88,97	97,89	106,89	115,91
Custo relativo ao DRI	US\$/t DRI	163,34	163,31	163,27	163,22	163,18	163,13	163,08	163,04	162,99	162,96	162,92	162,88	162,84	162,80
Custo relativo ao metálicos	US\$/t aço líquido	225,98	223,43	220,89	218,35	215,82	213,30	210,79	208,28	205,78	203,29	200,81	198,33	195,86	193,40
Δ Custo relativo ao metálicos	US\$/t aço líquido	0,00	-2,55	-5,09	-7,63	-10,16	-12,68	-15,19	-17,70	-20,20	-22,69	-25,17	-27,65	-30,12	-32,59
OCV	US\$/t aço líquido	47,03	47,09	47,16	47,24	47,31	47,39	47,46	47,54	47,61	47,69	47,76	47,83	47,91	47,99
CVU	US\$/t aço líquido	273,00	270,52	268,05	265,59	263,13	260,69	258,25	255,82	253,39	250,98	248,57	246,16	243,77	241,38
Δ CVU	US\$/t aço líquido	0,00	-2,48	-4,95	-7,41	-9,87	-12,31	-14,75	-17,18	-19,61	-22,02	-24,43	-26,84	-29,23	-31,62
CTU	US\$/t aço líquido	320,41	319,19	318,03	316,87	315,72	314,56	313,42	312,27	311,13	310,00	308,86	307,73	306,61	305,49
Δ CTU	US\$/t aço líquido	0,00	-1,22	-2,38	-3,54	-4,69	-5,85	-6,99	-8,14	-9,28	-10,41	-11,55	-12,68	-13,80	-14,91
P.VENDA	US\$/t aço líquido	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
MCU = CTU - CVU	US\$/t aço líquido	227,00	229,48	231,95	234,41	236,87	239,31	241,75	244,18	246,61	249,02	251,43	253,84	256,23	258,62
Δ MCU	US\$/t aço líquido	0,00	2,48	4,95	7,41	9,87	12,31	14,75	17,18	19,61	22,02	24,43	26,84	29,23	31,62
CTR	US\$/h	31598,40	31943,62	32287,44	32629,87	32972,30	33311,95	33651,60	33989,86	34328,11	34663,58	34999,06	35334,53	35667,22	36000,00
Δ CTR	US\$/h	0,00	345,22	689,04	1031,47	1373,90	1713,55	2053,20	2391,46	2729,71	3065,18	3400,66	3736,13	4068,82	4400,00
CMR	US\$/t aço líquido	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98	225,98
CMS	US\$/t aço líquido	225,98	223,43	220,89	218,35	215,82	213,30	210,79	208,28	205,78	203,29	200,81	198,33	195,86	193,40
Δ OCV	US\$/t aço líquido	0,00	0,06	0,13	0,21	0,28	0,36	0,43	0,51	0,58	0,66	0,73	0,80	0,88	0,96
VEU	US\$/t aço líquido	225,98	225,92	225,85	225,77	225,70	225,62	225,55	225,47	225,40	225,32	225,25	225,18	225,10	225,02
Δ VEU da carga metálica Sucata + DRI	US\$/t aço líquido	0,00	2,49	4,96	7,42	9,88	12,32	14,76	17,19	19,62	22,03	24,44	26,85	29,24	31,63
	US\$/tCM	0,00	2,25	4,49	6,72	8,96	11,20	13,43	15,67	17,91	20,14	22,37	24,62	26,85	29,08
Δ VEU do DRI	US\$/t DRI	40,64	40,59	40,54	40,50	40,46	40,42	40,38	40,34	40,30	40,26	40,22	40,18	40,14	40,10

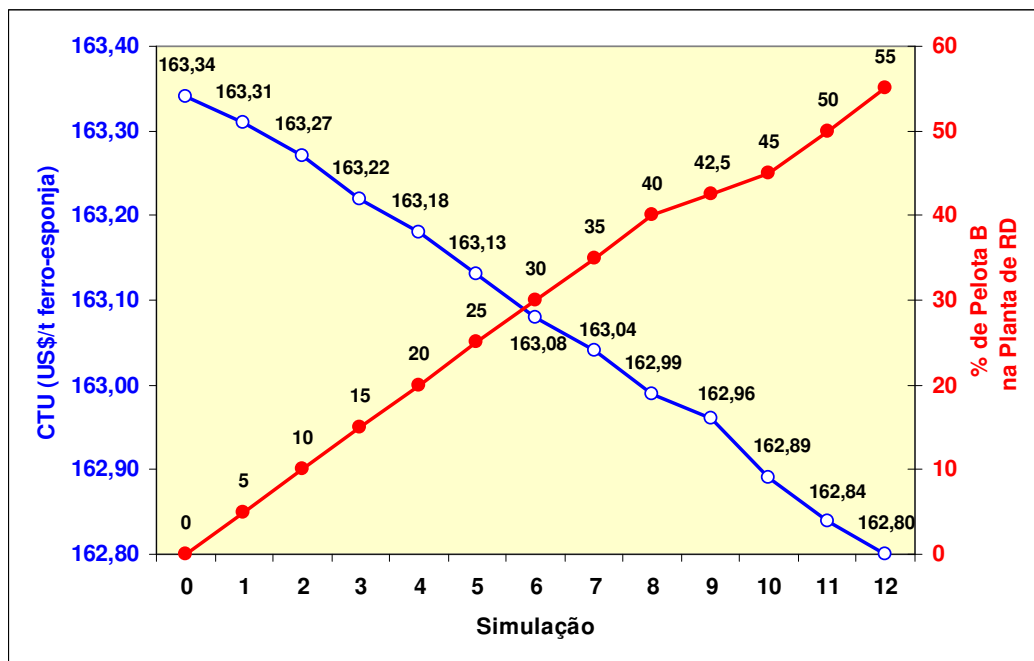


Figura 119 – Impacto da participação da pelota de sílica mais alta (1,75%) no custo total unitário do módulo de RD.

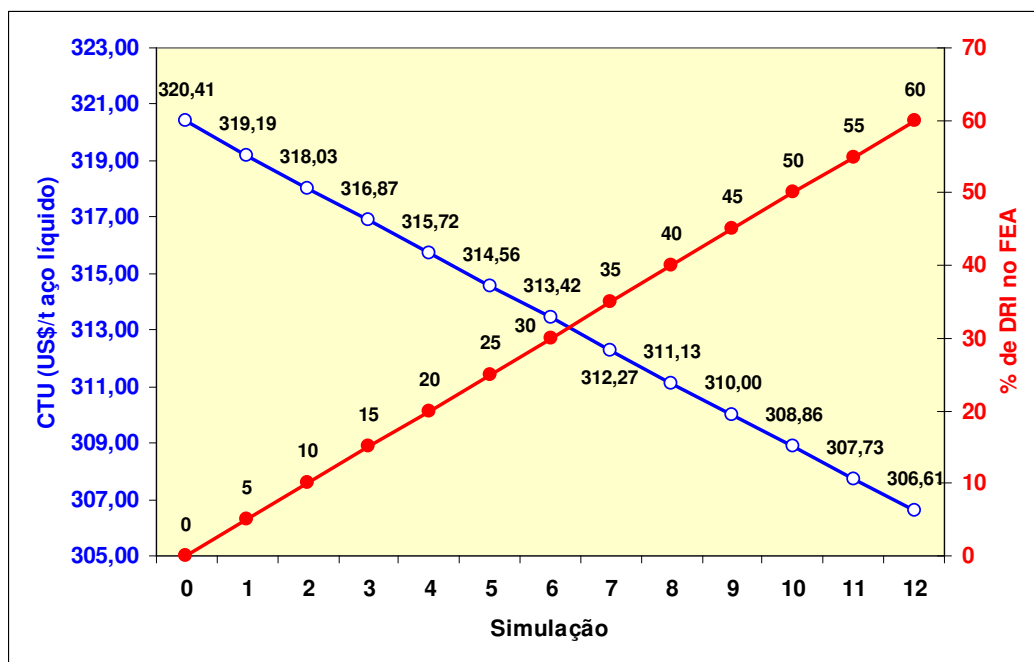


Figura 120 – Impacto da participação do DRI no custo total unitário do FEA.

Analisando, especificamente, a figura 119, nota-se que há uma ligeira queda de custo específico de produção do ferro-esponja, associada ao uso mais intensivo da pelota B, que acaba sendo um pouco menos onerosa que a pelota A, por possuir um menor teor em ferro, conforme, anteriormente mostrado, na tabela 21.

Já no FEA (figura 120), a redução de custo específico de produção é bastante significativa e, fundamentalmente, motivada pelo preço, bem mais em conta, do ferro-esponja produzido, em relação ao “mix” de sucatas (figura 121). É desnecessário lembrar que isto está ocorrendo apenas para este estudo de caso, não devendo ser generalizado para toda e qualquer operação desta natureza. Esta figura também evidencia que o GESTOR

buscou, a cada simulação, ajustar o “mix” de sucatas, objetivando atingir a qualidade especificada para o aço. Sugere-se, novamente, consultar a tabela 23, onde são também explicitadas as faixas de aceitação, para cada elemento químico, no aço líquido.

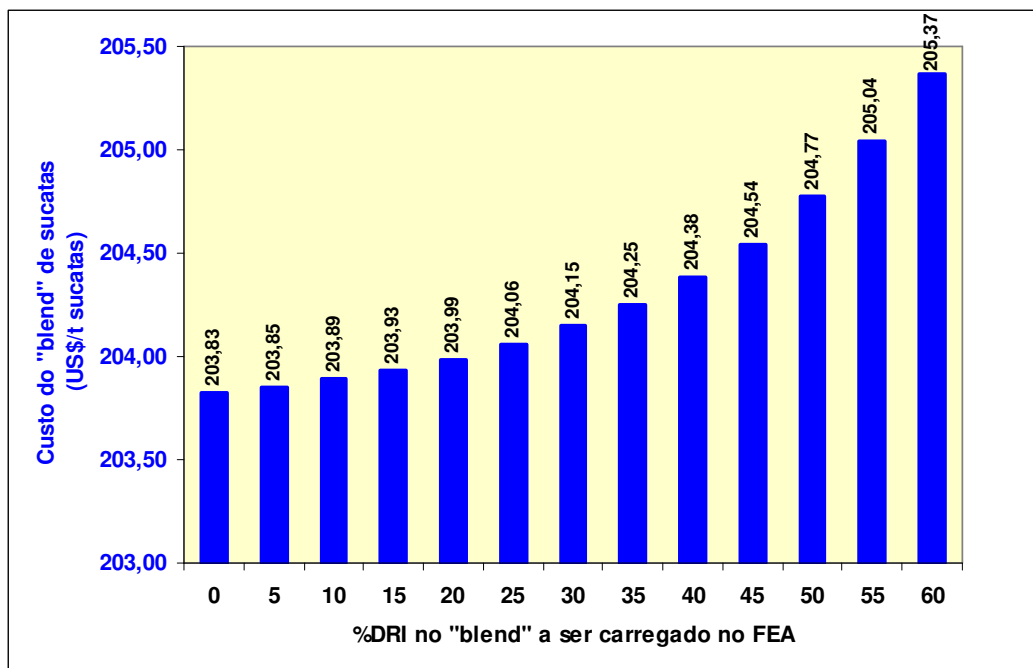


Figura 121 – Impacto da participação do DRI na seleção do “mix” de sucata do FEA.

Todavia, a possibilidade de utilização de matérias-primas mais baratas, possibilitou a redução do custo variável unitário (CVU) — ver equação (55) — de ambas as etapas do processo. Esta diminuição, praticamente, não afetou a contribuição (CTR) — ver equações (58), (59) e (60), já explicadas na seção 4.10.2 — da planta de RD. Mas para o caso do FEA, este parâmetro foi, substancial e positivamente, alterado, como mostrado pelas figuras 122 e 123.

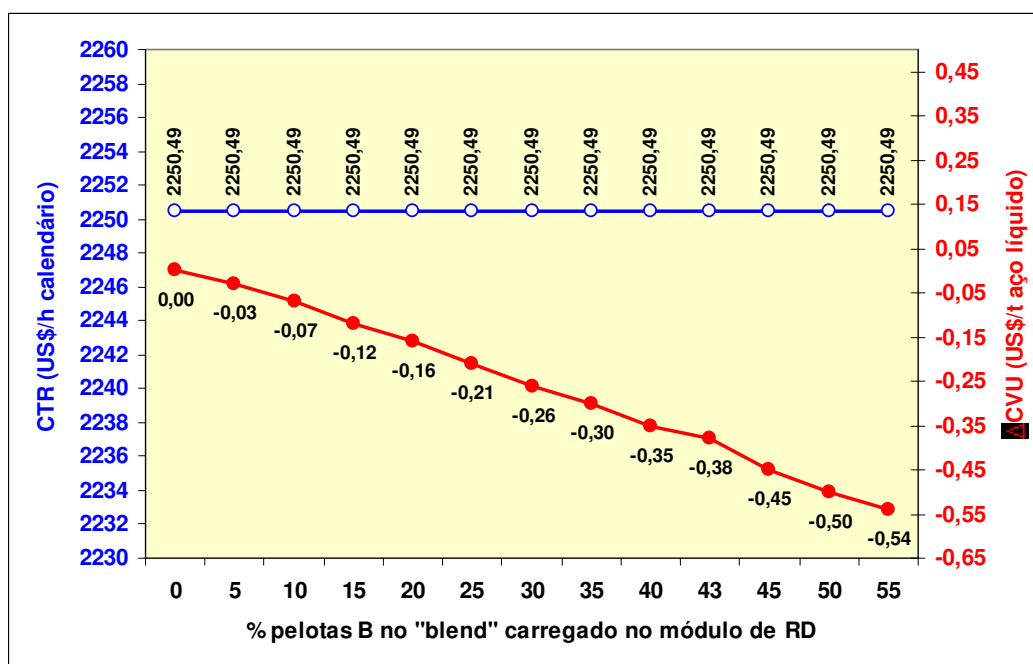


Figura 122 – Impacto da participação das pelotas de alta sílica carregado no módulo de RD sobre a contribuição (CTR) e o custo variável unitário (CVU) da planta de redução direta, para o estudo de caso em questão.

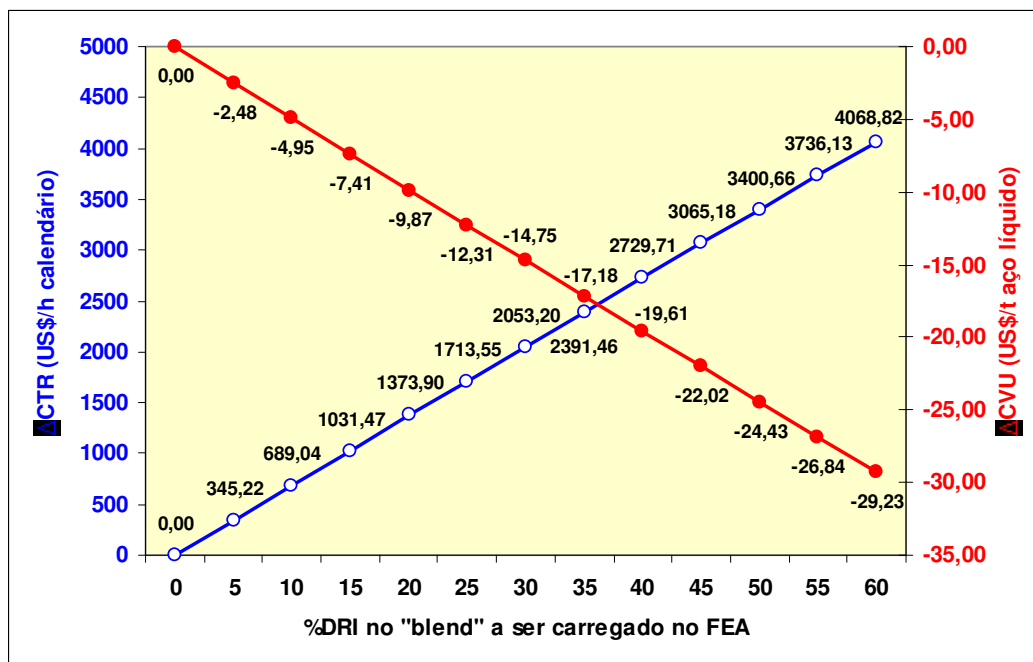


Figura 123 – Impacto da participação do DRI carregado no FEA sobre a contribuição (CTR) e o custo variável unitário (CVU) da aciaria elétrica, para o estudo de caso em questão.

A partir do consumo de um DRI produzido, gradativamente, por pelotas contendo mais sílica, esperava-se que os outros custos variáveis da aciaria (OCV) — ver a equação (61) e, em particular, (63), já comentadas na seção 4.10.4 — elevassem-se, principalmente, em função da elevação do consumo de energia elétrica e de uma maior adição de cal. Tal fato foi realmente constatado, encontrando-se explicitado na figura 124, onde se observa que este aumento foi, totalmente, compensado e viabilizado, economicamente, pela queda no custo com metálicos.

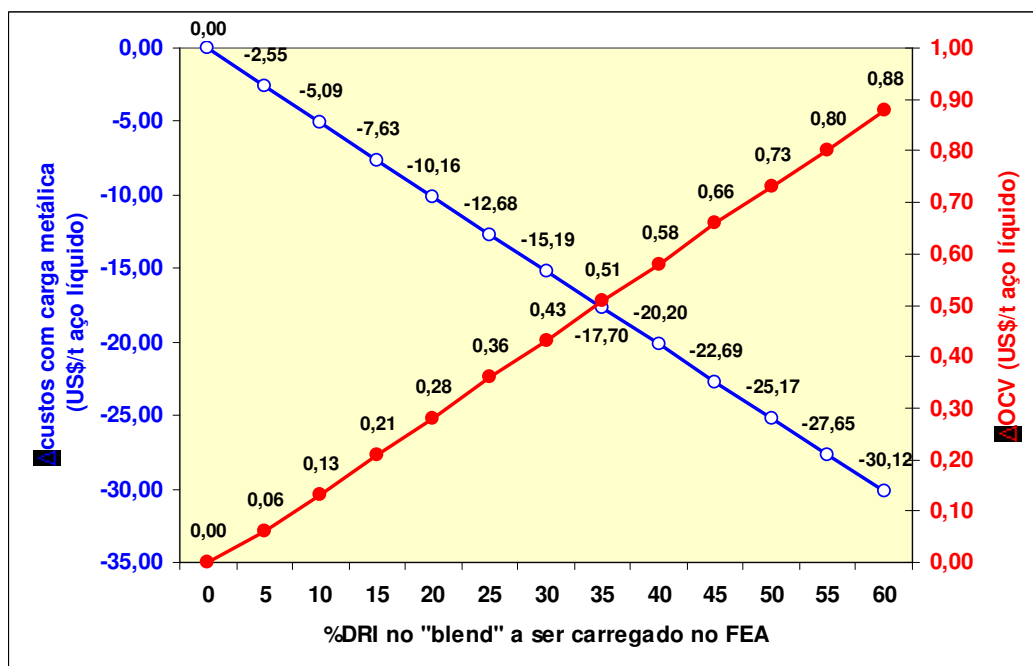


Figura 124 – Impacto da participação do DRI carregado no FEA sobre os outros custos variáveis (OCV) e os custos com metálicos na aciaria elétrica, para o estudo de caso em questão.

Especificamente na redução direta, observou-se que os outros custos variáveis foram impactados em quase nada, conforme exibido na figura 125. Uma vez que isto aconteceu e adicionalmente, está acompanhado por uma contração do custo específico com a carga de pelotas, chega-se à conclusão de que — para a operação em questão — o emprego de pelotas com mais alta sílica é algo viável economicamente.

A partir das premissas assumidas deste estudo, faz sentido, então, afirmar que as pelotas de alta sílica trouxeram algum benefício econômico para a operação da planta de redução direta. E neste sentido, é razoável se pensar em alguma forma de premiação (ou bonificação) desta matéria-prima substituída, como forma de reconhecer o superior resultado econômico obtido no processo, a partir do seu uso, chegando-se à figura 126.

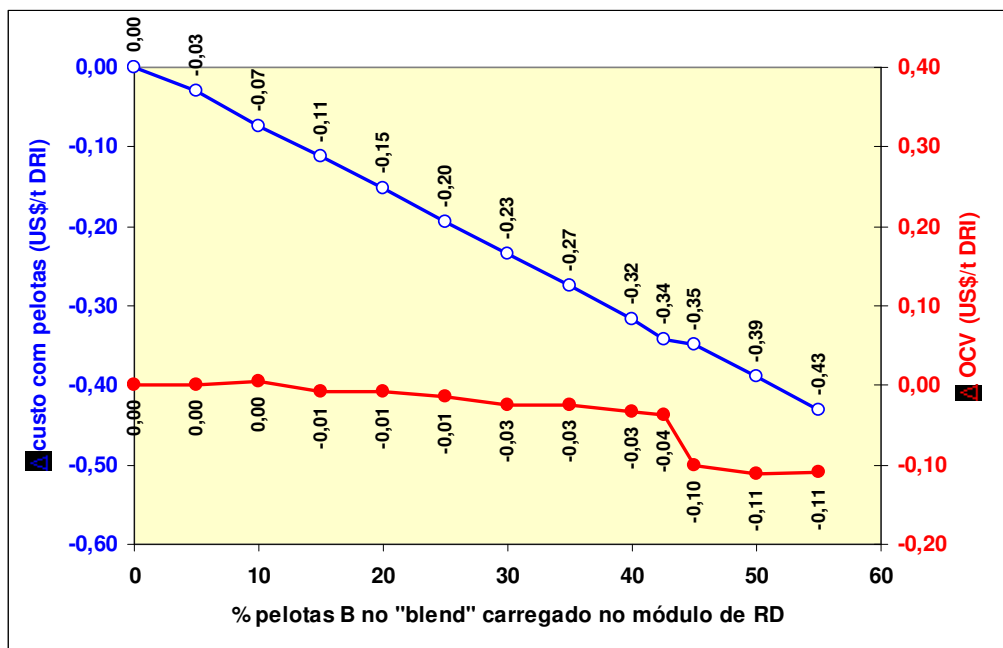


Figura 125 – Impacto da participação de pelotas de alta sílica carregado no reator de RD sobre os outros custos variáveis (OCV) e os custos com carga ferrifera na redução direta, para o estudo de caso em questão.

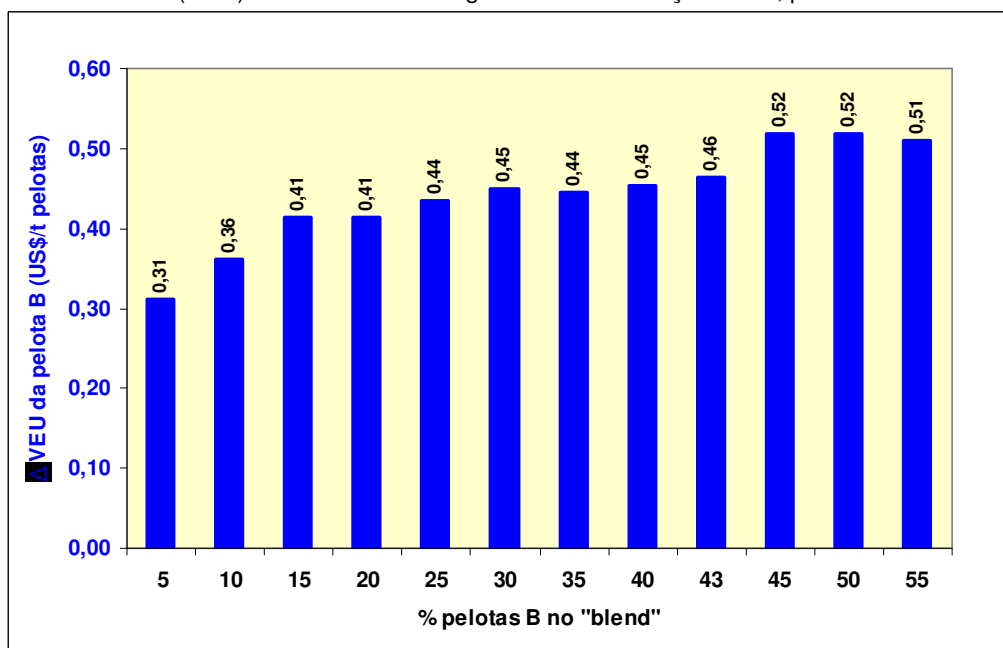


Figura 126 – Prêmio merecido pela pelota de alta sílica, atribuído ao seu superior resultado econômico, a partir de seu uso gradativo na operação de redução direta em estudo, conforme equações (63) e (64).

É também verdadeiro afirmar, com base nas premissas deste estudo, que a elevação gradual da participação do pré-reduzido na aciaria elétrica se mostrou cada vez mais viável, do ponto de vista econômico. O prêmio associado ao ferro-esponja, pela sua superior parcela de contribuição para o resultado econômico do processo, foi calculado, caso a caso, e está exibido na figura 127.

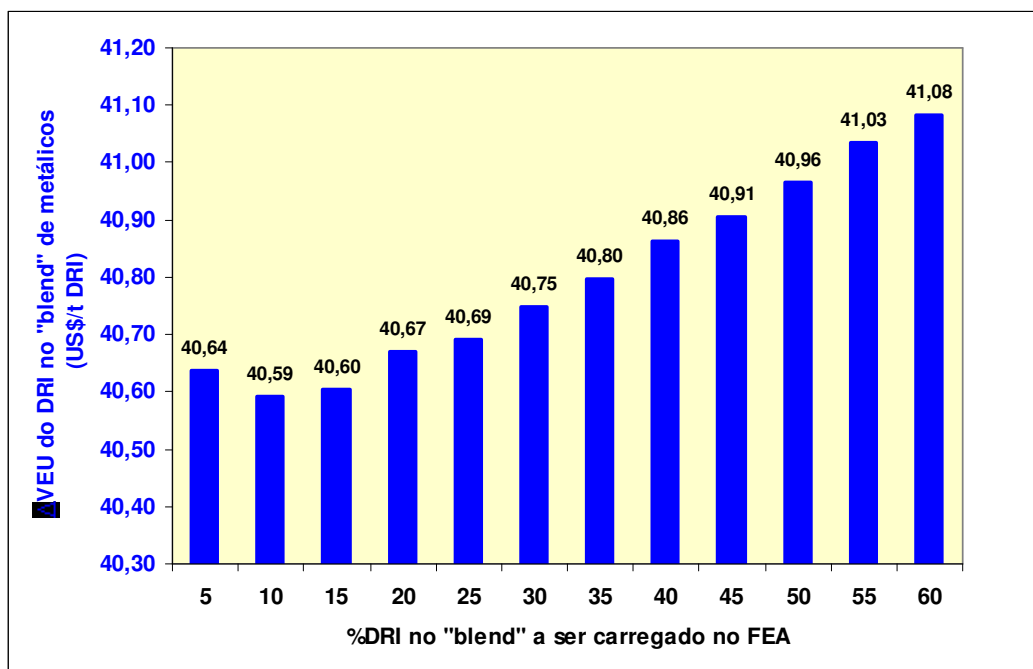


Figura 127 – Prêmio merecido pelo pré-reduzido carregado no FEA, atribuído ao seu superior resultado econômico, a partir de seu uso gradual na operação de aciaria elétrica em estudo, conforme equações (63) e (64).

Obviamente, este prêmio tenderá a se reduzir à medida que a diferença entre o preço de aquisição das sucatas de aço e o custo de produção do pré-reduzido for diminuindo.

Por fim, cabe o comentário de que, no mundo dos negócios, terá um maior poder de argumentação e convencimento — e, portanto, de fechamento de uma boa negociação junto ao cliente — aquele negociador que conhecer com propriedade tal seria a faixa permitida entre o real valor praticado e o limite máximo de premiação. Naturalmente, este limite máximo tem que existir, e uma vez comprovado com fatos e dados, não há o que contestar.