

4 Resultados

4.1.

Resultados obtidos nos ensaios de Capacidade Obtida.

Nas Tabelas 3 (sem redução da frequência de aquisição) e 4 (com redução da frequência de aquisição) estão registrados os resultados obtidos nos ensaios de Capacidade Obtida das baterias A e B e também, o ciclo extra da bateria B. Todos os dados foram calculados com o auxílio do programa MATLAB e das equações contidas nos capítulos 2 e 3.

Para o cálculo de temperatura utilizou-se a eq. (28), para o cálculo da capacidade a eq. (7) e para o cálculo de corrente de descarga a eq. (23).

Tabela 3-Resultados dos ensaios de Capacidade Obtida, sem redução da frequência de aquisição.

ENSAIO		CAPACIDADE OBTIDA		
		(sem redução da frequência de aquisição)		
BATERIA		A	B	B (ciclo extra)
CICLO		Descarga	Descarga	Descarga
GRANDEZA				
Resistência PT100	$x_M (\Omega)$	109,98	110,04	109,93
	$\sigma (\Omega)$	0,02	0,04	0,02
	$v (UN)$	1046,00	185,00	224,00
Tensão Referência	$x_M (V)$	0,88	0,89	0,91
	$\sigma (V)$	0,01	0,01	0,01
	$v (UN)$	1046,00	185,00	224,00
Tensão Bateria	$x_M (V)$	12,06	11,92	11,94
	$\sigma (V)$	0,49	0,44	0,45
	$v (UN)$	1051,00	185,00	224,00
Resistência Referência	$x_M (\Omega)$	0,18	0,17	0,17
	$\sigma (\Omega)$	0,001	0,001	0,0004
	$v (UN)$	73,00	408,00	185,00
Corrente (A) Descarga		(5,04 ± 0,14)	(5,10 ± 0,15)	(5,21 ± 0,13)
Capacidade Obtida (Ah)		(88,0 ± 2,5)	(79,1 ± 2,5)	(97,6 ± 2,5)
Tempo (h) Descarga		17,45	15,50	17,75
Temperatura (°C) do Banho		(25,5 ± 0,1)	(25,7 ± 0,2)	(25,4 ± 0,1)

A Fig. 30 mostra a variação da resistência do termômetro PT100 e a Fig. 31 mostra a curva de descarga da bateria A, ambas sem variação da frequência de aquisição.

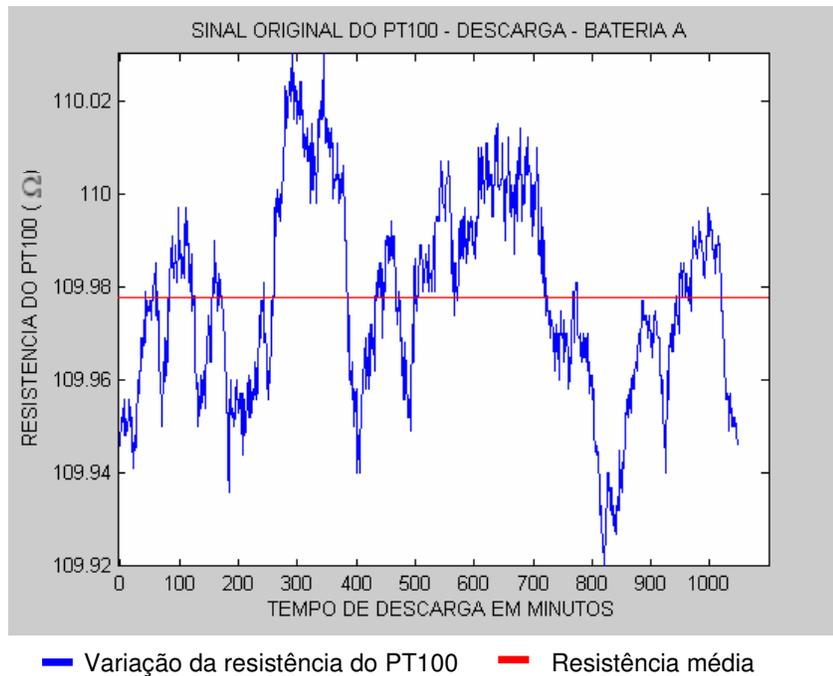


Figura 30-Curva da variação da resistência do termômetro PT100 obtida no ensaio de capacidade da bateria A, sem redução da frequência de aquisição ($0,01^{\circ}\text{C} \cong 0,04\Omega$).

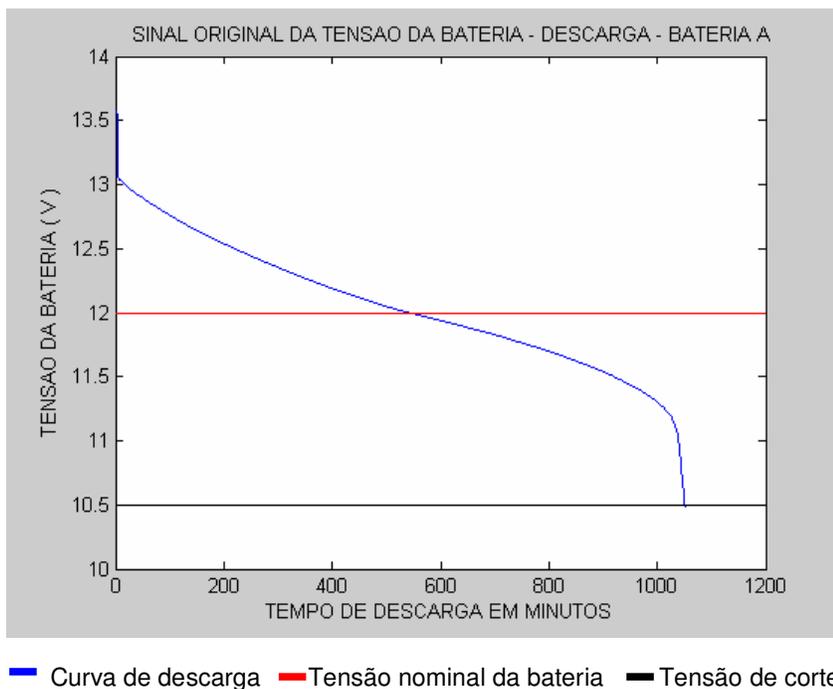
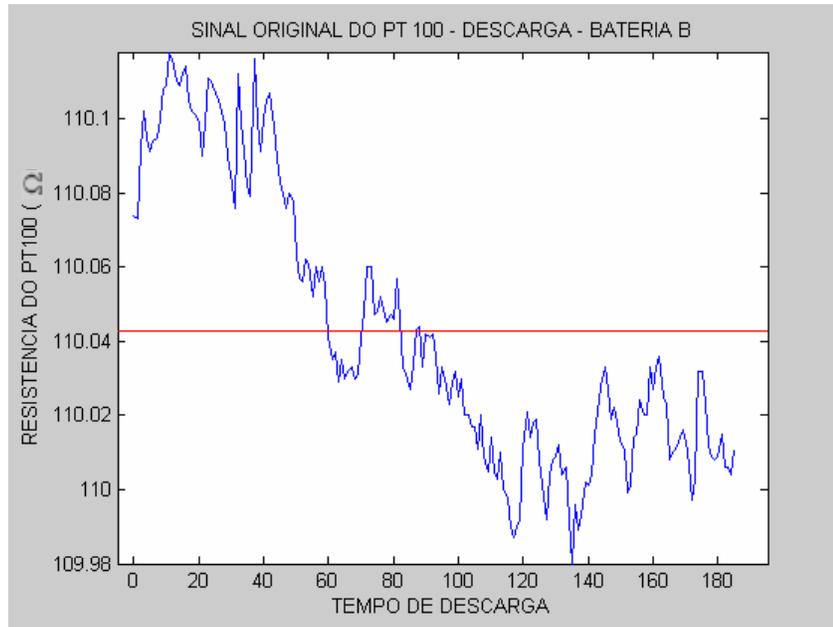


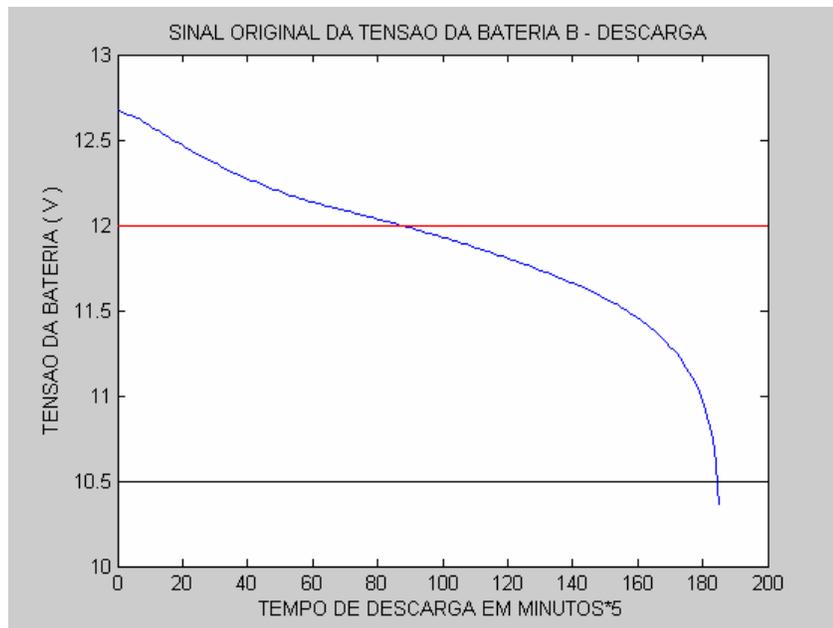
Figura 31-Curva de descarga da bateria A obtida no ensaio de capacidade, sem redução da frequência de aquisição.

A Fig. 32 mostra a variação da resistência do termômetro PT100 e a Fig. 33 mostra a curva de descarga da bateria B, ambas sem variação da frequência de aquisição.



— Variação da resistência do PT100 — Resistência média

Figura 32-Curva da variação da resistência do termômetro PT100 obtida no ensaio de capacidade da bateria B, sem redução da frequência de aquisição ($0,01^{\circ}\text{C} \cong 0,04\Omega$).



— Curva de descarga — Tensão nominal da bateria — Tensão de corte

Figura 33-Curva de descarga da bateria B obtida no ensaio de capacidade da bateria, sem redução da frequência de aquisição.

A Fig. 34 mostra a variação da resistência do termômetro PT100 e a Fig. 35 mostra a curva de descarga da bateria B (ciclo extra), ambas sem variação da frequência de aquisição.

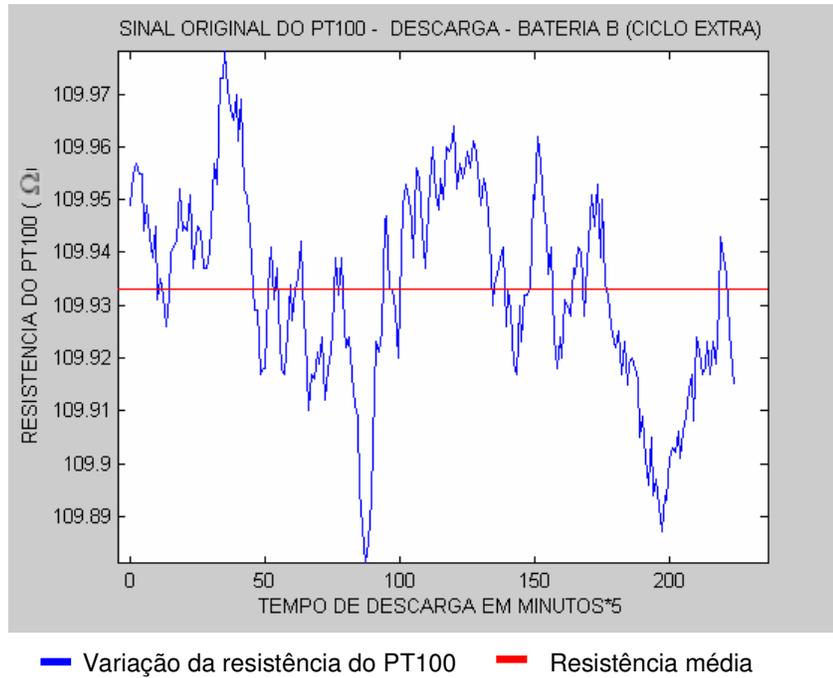


Figura 34-Curva da variação da resistência do termômetro PT100 obtida no ensaio de capacidade da bateria B (ciclo extra), sem redução da frequência de aquisição ($0,01^{\circ}\text{C} \cong 0,04\Omega$).

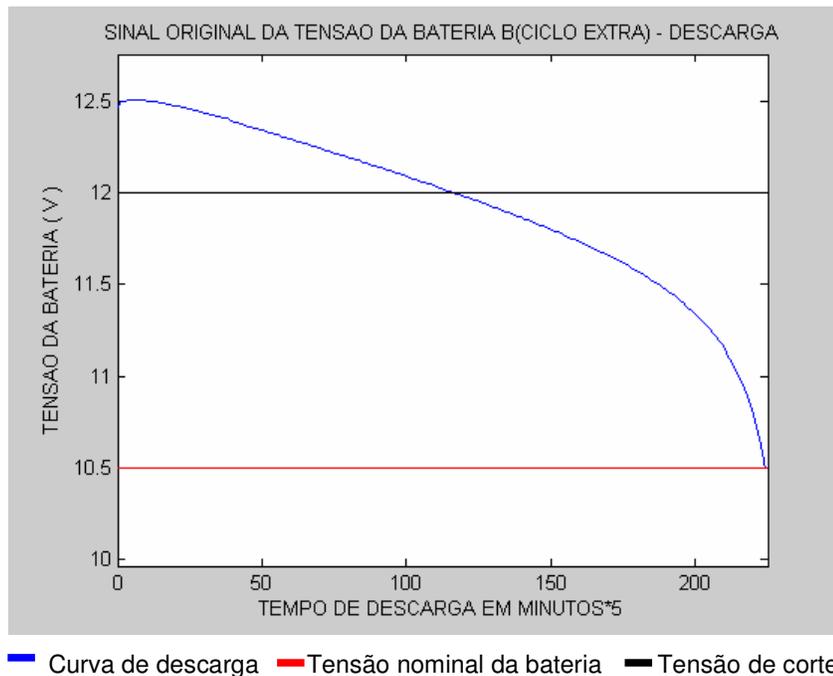
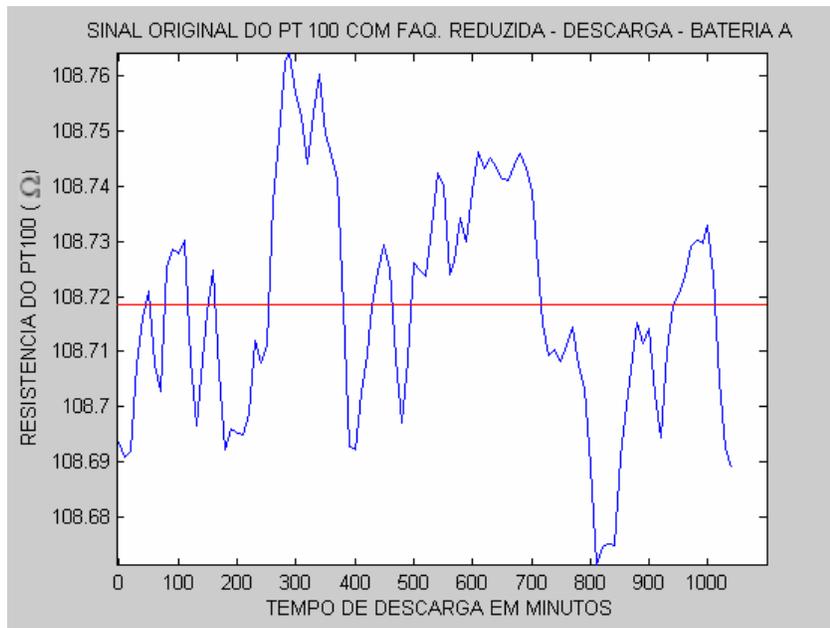


Figura 35-Curva de descarga da bateria B obtida no ensaio de capacidade da bateria, sem redução da frequência de aquisição.

Tabela 4-Resultados dos ensaios de Capacidade Obtida, com redução da frequência de aquisição.

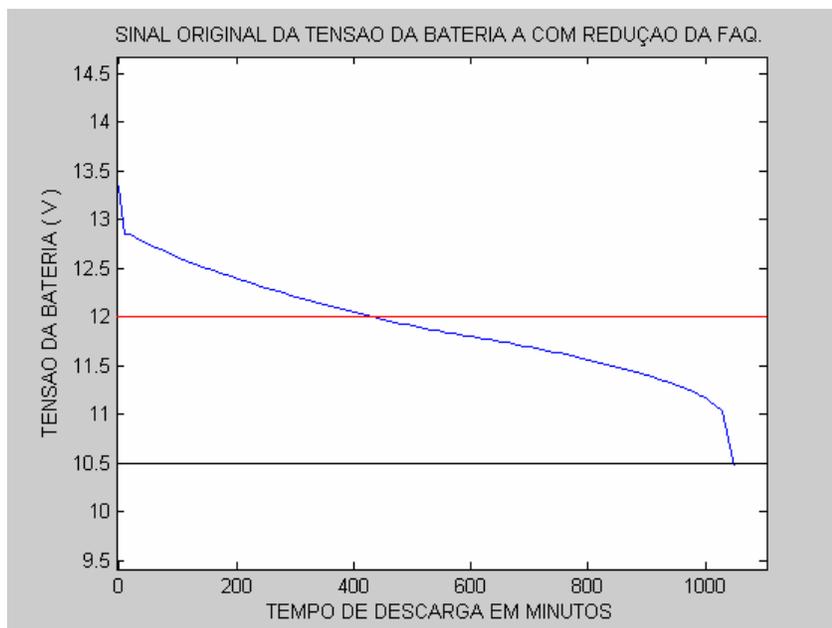
ENSAIO		CAPACIDADE OBTIDA (com redução da frequência de aquisição)		
		A	B	B (ciclo extra)
BATERIA		A	B	B (ciclo extra)
CICLO		Descarga	Descarga	Descarga
GRANDEZA				
Resistência PT100	$x_M (\Omega)$	108,72	108,78	108,67
	$\sigma (\Omega)$	0,02	0,04	0,02
	$v (UN)$	104,00	46,00	56,00
Tensão Referência	$x_M (V)$	0,87	0,88	0,90
	$\sigma (V)$	0,01	0,01	0,01
	$v (UN)$	104,00	46,00	56,00
Tensão Bateria	$x_M (V)$	11,92	11,78	11,80
	$\sigma (V)$	0,50	0,46	0,46
	$v (UN)$	105,00	46,00	56,00
Resistência Referência	$x_M (\Omega)$	0,17	0,17	0,17
	$\sigma (\Omega)$	0,001	0,001	0,0003
	$v (UN)$	7,00	102,00	46,00
Corrente (A) Descarga		(4,98± 0,13)	(5,04 ± 0,14)	(5,15 ± 0,13)
Capacidade Obtida (Ah)		(87,0 ± 2,4)	(79,1 ± 2,4)	(96,5 ± 2,5)
Tempo (h) Descarga		17,45	15,50	17,75
Temperatura (°C) do Banho		(25,5 ± 0,1)	(25,7 ± 0,2)	(25,4 ± 0,1)

A Fig. 36 mostra a variação da resistência do termômetro PT100 e a Fig. 37 mostra a curva de descarga da bateria A, ambas com variação da frequência de aquisição.



— Variação da resistência do PT100 — Resistência média

Figura 36-Curva da variação da resistência do termômetro PT100 obtida no ensaio de capacidade da bateria A, com redução da frequência de aquisição ($0,01^{\circ}\text{C} \cong 0,04\Omega$).



— Curva de descarga — Tensão nominal da bateria — Tensão de corte

Figura 37-Curva de descarga da bateria A obtida no ensaio de capacidade da bateria, com redução da frequência de aquisição.

A Fig. 38 mostra a variação da resistência do termômetro PT100 e a Fig. 39 mostra a curva de descarga da bateria B, ambas com variação da frequência de aquisição.

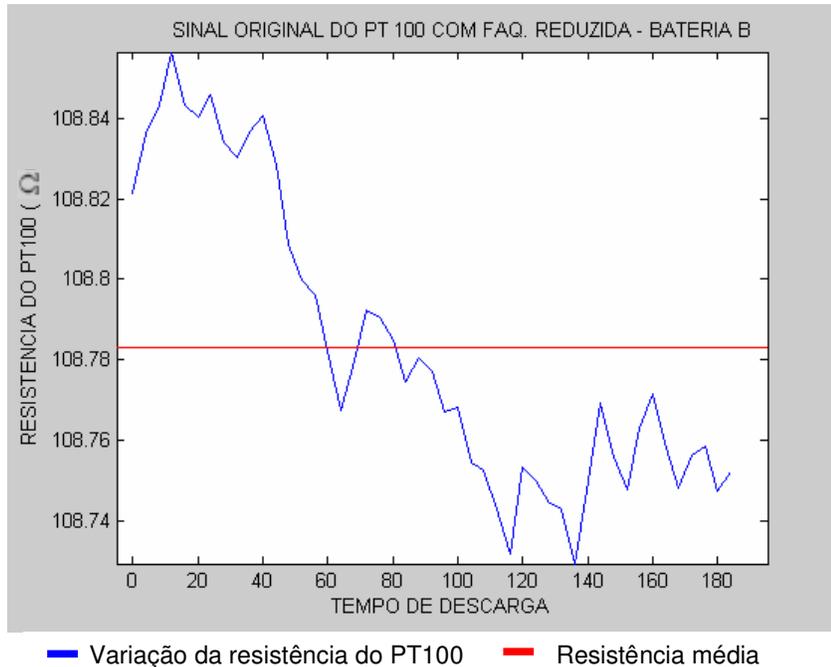


Figura 38-Curva da variação da resistência do termômetro PT100 obtida no ensaio de capacidade da bateria B, com redução da frequência de aquisição ($0,01^{\circ}\text{C} \cong 0,04\Omega$).

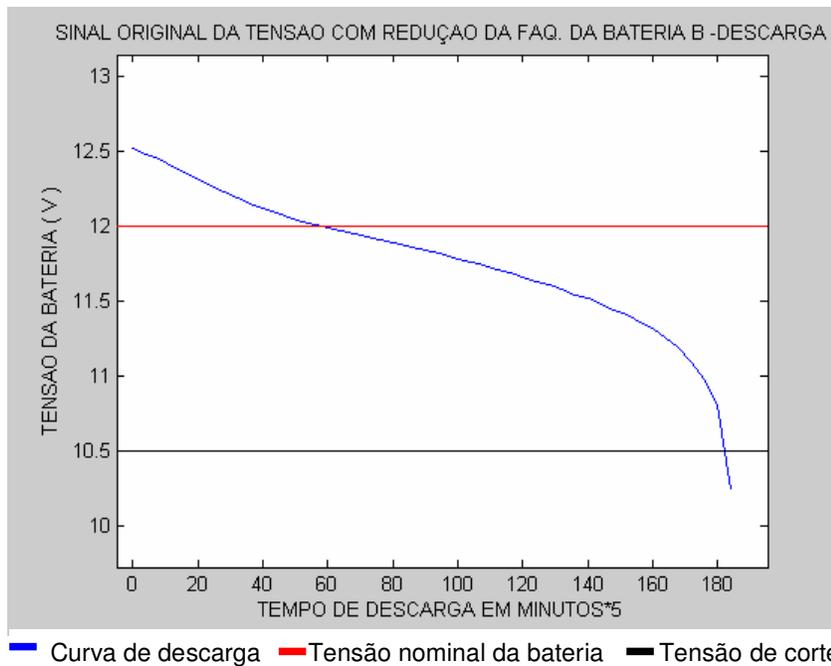


Figura 39-Curva de descarga da bateria A obtida no ensaio de capacidade da bateria, com redução da frequência de aquisição.

A Fig. 40 mostra a variação da resistência do termômetro PT100 e a Fig. 41 mostra a curva de descarga da bateria B (ciclo extra), ambas com variação da frequência de aquisição.

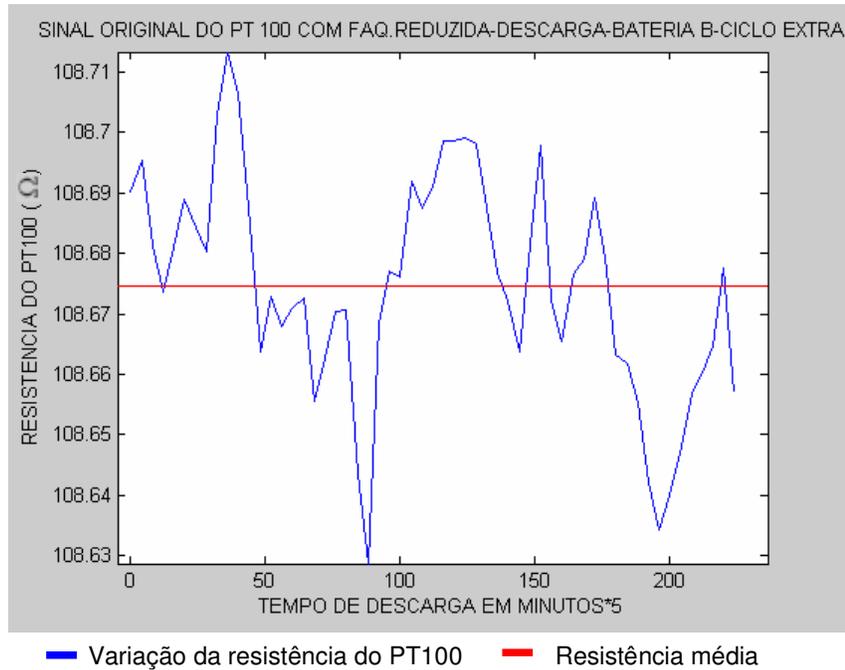


Figura 40-Curva da variação da resistência do termômetro PT100 obtida no ensaio de capacidade da bateria B (ciclo extra), com redução da frequência de aquisição ($0,01^{\circ}\text{C} \cong 0,04\Omega$)..

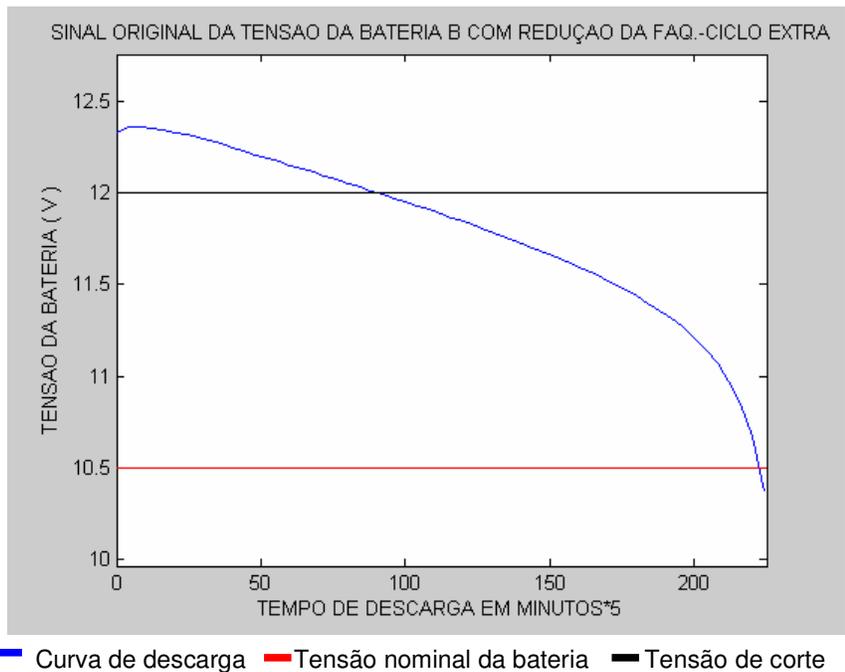


Figura 41-Curva de descarga da bateria A obtida no ensaio de capacidade da bateria, com redução da frequência de aquisição.

4.1.1.

Cálculo da correção da capacidade no ensaio de Capacidade Obtida.

É importante a verificação da temperatura de operação da bateria no manual do fabricante, já que a capacidade e a vida útil da bateria dependem da mesma.

Os cálculos de correção da capacidade serão realizados para os dados obtidos sem redução da frequência de aquisição, tanto para bateria A, como para a bateria B, inclusive o ciclo extra realizado na bateria B.

I) Bateria A (sem redução da frequência de aquisição).

Como o ensaio foi realizado a uma temperatura média de 25,49°C deve-se corrigir sua capacidade para temperatura de operação indicada no manual do fabricante que é de 27°C.

Temperatura de operação da bateria = 27°C

Temperatura média, calculada, do banho termostatizado = (25,49 ± 0,12)°C

Limite superior da temperatura do banho termostatizado = 25,61°C

Limite inferior da temperatura do banho termostatizado = 25,37°C

Capacidade calculada no ensaio = (87,96 ± 2,49) Ah

$$\text{Correção da temperatura} = \frac{(27 - 25,61) + (27 - 25,37)}{2} = 1,51^\circ C$$

Para cada grau Celsius de variação da temperatura da bateria, a capacidade (87,96 Ah) varia na ordem de 1%, logo, 1,34Ah de variação na capacidade.

A correção combinada (eq. 32) neste ensaio, devido à variação da temperatura do banho termostatizado, apresenta o valor de 1,34Ah, e a incerteza expandida é igual a 2,49Ah. A Capacidade corrigida será: **(87,96 + 1,34) ± 2,49 = (89,3 ± 2,5) Ah.**

II) Bateria B (sem redução da frequência de aquisição)

Temperatura de operação da bateria = 25°C

Temperatura calculada do banho termostatizado = (25,65 ± 0,19)°C

Limite superior da temperatura do banho termostatizado = 25,84°C

Limite inferior da temperatura do banho termostatizado = 25,46°C

Capacidade calculada no ensaio = (79,05 ± 2,46) Ah

$$\text{Correção da temperatura} = \frac{(25 - 25,84) + (25 - 25,46)}{2} = -0,65^\circ C$$

Para cada °C de variação da temperatura da bateria, a capacidade (79,05Ah) varia na ordem de 1%, logo, - 0,51Ah de variação na capacidade.

A correção combinada (eq. 32) neste ensaio devido à variação da temperatura do banho termostatizado apresenta o valor de -0,51Ah, e a incerteza expandida é igual a 2,46Ah. A Capacidade corrigida será: **(79,05 - 0,51) ± 2,46 = (78,5 ± 2,5) Ah.**

III) Bateria B – ciclo extra (sem redução da frequência de aquisição)

Temperatura de operação da bateria = 25°C

Temperatura calculada do banho termostatizado = (25,37 ± 0,10)°C

Limite superior da temperatura do banho termostatizado= 25,47°C

Limite inferior da temperatura do banho termostatizado = 25,27°C

Capacidade calculada no ensaio = (97,64 ± 2,53) Ah

$$\text{Correção da temperatura} = \frac{(25 - 25,47) + (25 - 25,27)}{2} = -0,37^\circ\text{C}$$

Para cada °C de variação da temperatura da bateria, a capacidade (97,64Ah) varia na ordem de 1%, logo, - 0,36Ah de variação na capacidade.

A correção combinada (eq. 32) neste ensaio devido à variação da temperatura do banho termostatizado apresenta o valor de -0,36Ah, e a incerteza expandida é igual a 2,53Ah. A Capacidade corrigida será: **(97,64 - 0,36) ± 2,53 = (97,3 ± 2,5) Ah.**

4.1.2.

Modelagem da curva de descarga por uma função matemática.

I) Modelagem da curva de descarga da Bateria A

A função matemática que representa aproximadamente o comportamento da tensão nos terminais da bateria no processo de descarga é um polinômio de 3º grau. O grau deste polinômio foi escolhido de modo a minimizar o desvio médio quadrático do ajuste, dentre outros polinômios.

$$P(t) = -3,2 \cdot 10^{-9} \cdot t^3 + 5,3 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot t + 13,1 \quad (\text{sem redução da faq.}) \quad (33)$$

$$P(t) = -3,6 \cdot 10^{-9} \cdot t^3 + 5,8 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot t + 13,0 \quad (\text{sem redução da faq.}) \quad (34)$$

Usando-se o polinômio da eq. (33), para uma taxa C_{20} de descarga e uma tensão de corte 10,5V, a simulação realizada, ajustou-se da melhor forma aos valores reais, usando-se como referência o desvio médio quadrático minimizado.

Como exemplo, suponha que o usuário não disponha de dados laboratoriais e deseje estimar a tensão nos terminais da bateria A para alguns valores de tempos de descarga usando o polinômio, de acordo com a eq. (33). A diferença entre o valor previsto e o real está descrito na Tabela 5.

A diferença percentual entre o valor instantâneo da tensão nos terminais da bateria e o valor obtido com o polinômio é maior próximo ao fim da descarga, porque a partir deste ponto o polinômio se afasta dos valores experimentais, conforme Fig. 38. A maior diferença percentual entre os valores obtidos a partir dos dados experimentais (real) e os obtidos com o polinômio é, aproximadamente, 5,4%.

O conhecimento do polinômio característico da curva de descarga permite fazer uma estimativa do tempo de carga que resta à bateria de acordo com o consumo. Desta forma o usuário pode prever quanto lhe resta de energia com um erro mínimo.

Tabela 5-Diferença (%) entre valores obtidos na modelagem – Bateria A.

Tempo (h)	Valores reais (V) (experimentais) Sem redução da frequência de aquisição	Valores previstos(V) (Polinômio) Sem redução da frequência de aquisição	Diferença entre o valor previsto e real (%) \cong	Tempo (h)	Valores reais (V) (experimentais) Sem redução da frequência de aquisição	Valores previstos(V) (Polinômio) Sem redução da frequência de aquisição	Diferença entre o valor previsto e real (%) \cong
1,00	12,88	12,10	0,22	11,00	11,88	11,90	0,16
2,00	12,72	12,72	0,04	12,00	11,81	11,82	0,12
3,00	12,58	12,57	-0,10	13,00	11,73	11,73	0,04
4,00	12,47	12,44	-0,20	14,00	11,64	11,63	-0,10
5,00	12,36	12,33	-0,20	15,00	11,54	11,51	-0,30
6,00	12,26	12,24	-0,20	16,00	11,42	11,36	-0,50
7,00	12,16	12,16	-0,00	17,00	11,23	11,18	-0,40
8,00	12,08	12,09	0,12	17,45	10,71	11,09	3,45
9,00	12,00	12,03	0,18	17,53	10,48	11,08	5,42
10,00	11,94	11,96	0,18				

As Fig. 42 e 43 representam as modelagens das curvas de descarga com polinômio de ordem 3 sem e com redução da frequência de aquisição, respectivamente.

A redução da frequência de aquisição foi feita utilizando-se a função PSD do software MATLAB, que reduziu em 10 vezes a quantidade de dados coletados, com um erro mínimo.

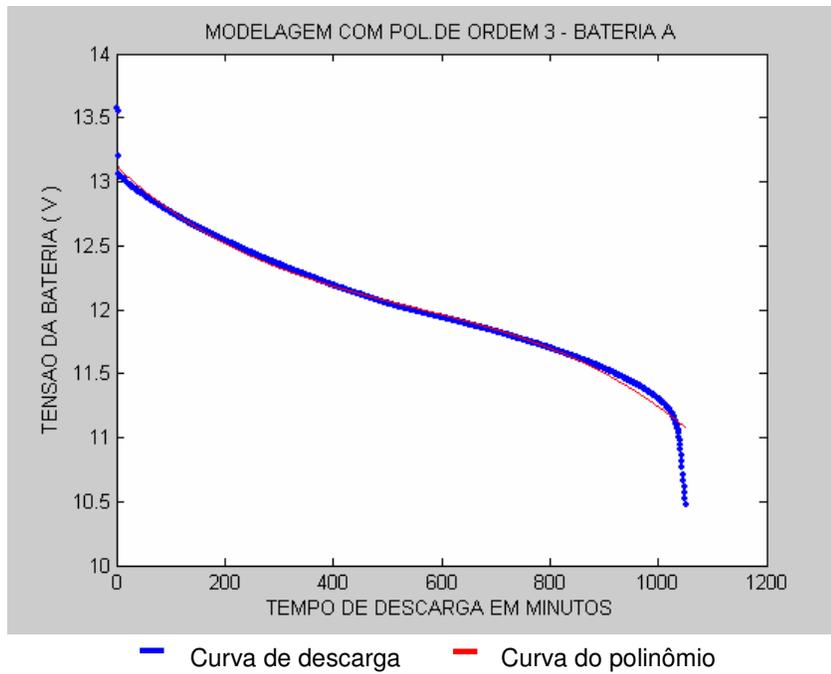


Figura 42-Modelagem da curva de descarga sem redução da freqüência de aquisição no ensaio de capacidade obtida da bateria A.

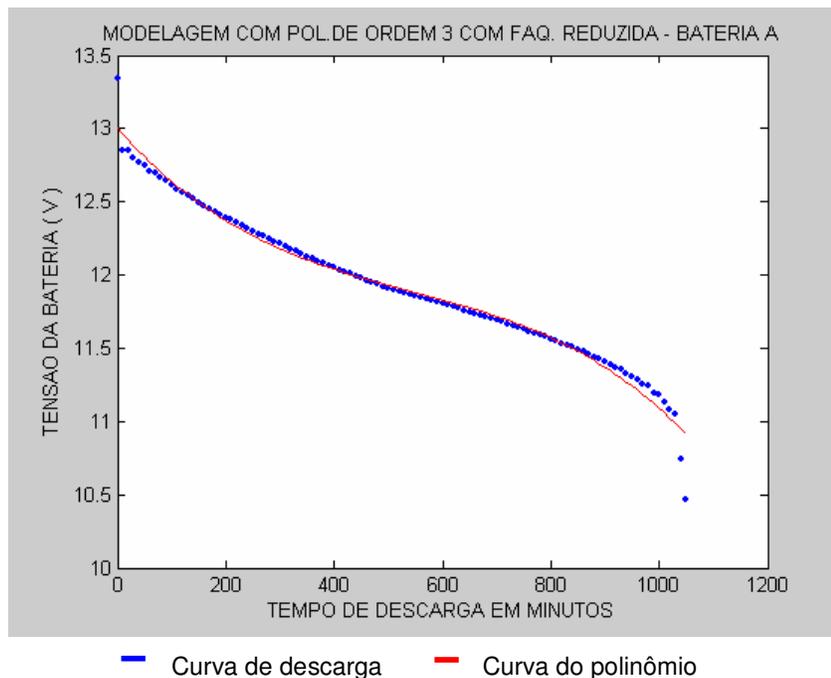


Figura 43-Modelagem da curva de descarga com redução da freqüência de aquisição no ensaio de capacidade obtida da bateria A.

II) Modelagem da curva de descarga da Bateria B

A função matemática que representa aproximadamente o comportamento da tensão nos terminais da bateria no processo de descarga é um polinômio de 3º grau. O grau deste polinômio foi escolhido de modo a minimizar o desvio médio quadrático do ajuste, dentre outros polinômios.

$$P(t) = -7,0 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot t + 12,8 \quad (\text{sem redução da freq.}) \quad (35)$$

$$P(t) = -7,9 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,9 \cdot 10^{-2} \cdot t + 12,6 \quad (\text{com redução da freq.}) \quad (36)$$

O polinômio da eq. (35) para uma taxa C_{20} de descarga e uma tensão de corte 10,5V, a simulação realizada, ajustou-se da melhor forma aos valores reais, usando-se como referência o desvio médio quadrático minimizado. A diferença entre o valor previsto e o real está descrito na Tabela 6.

A maior diferença percentual entre os valores obtidos com o polinômio e os dados experimentais é, aproximadamente, 4,4%.

Com este polinômio pode-se prever um determinado ponto de operação para uma bateria de 100Ah com corrente de descarga de 5A.

O usuário, por exemplo, pode estimar o tempo que lhe resta de carga e planejar o uso de sua bateria, com erro mínimo.

Tabela 6-Diferença (%) entre valores obtidos na modelagem - Bateria B

Tempo (h)	Valores reais (V) (experimentais) Sem redução da frequência de aquisição	Valores previstos(V) (Polinômio) Sem redução da frequência de aquisição	Diferença entre o valor previsto e real (%) \cong	Tempo (h)	Valores reais (V) (experimentais) Sem redução da frequência de aquisição	Valores previstos(V) (Polinômio) Sem redução da frequência de aquisição	Diferença entre o valor previsto e real (%) \cong
1,00	12,57	12,56	0,22	9,00	11,89	11,91	0,22
2,00	12,43	12,40	0,04	10,00	11,81	11,84	0,24
3,00	12,31	12,28	-0,10	11,00	11,73	11,74	0,12
4,00	12,22	12,19	-0,20	12,00	11,63	11,62	-0,10
5,00	12,14	12,13	-0,20	13,00	11,52	11,45	-0,60
6,00	12,08	12,07	-0,20	14,00	11,35	11,24	-0,90
7,00	12,02	12,02	-0,00	15,00	11,02	10,98	-0,30
8,00	11,96	11,97	0,12	15,50	10,36	10,83	4,37

As Fig. 44 e 45 representam as modelagens das curvas de descarga com polinômio de ordem 3 sem e com redução da frequência de aquisição, respectivamente.

A redução da frequência de aquisição foi feita utilizando-se a função PSD do software MATLAB, que reduziu em 4 vezes a quantidade de dados coletados, com um erro mínimo.

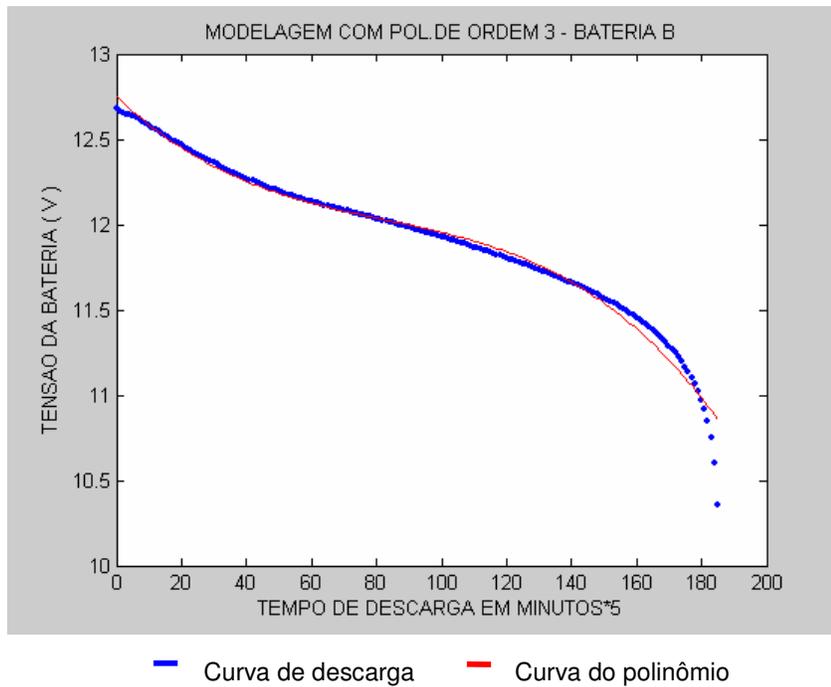


Figura 44-Modelagem da curva de descarga sem redução da frequência de aquisição do ensaio de capacidade obtida da bateria B.

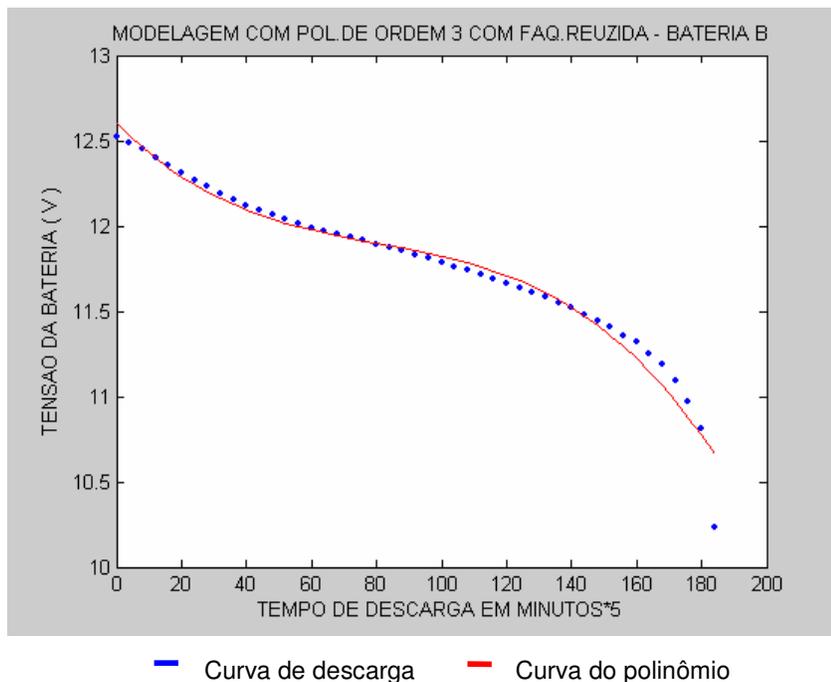


Figura 45-Modelagem da curva de descarga com redução da frequência de aquisição do ensaio de capacidade obtida da bateria B.

4.1.2.

Análise das fontes de incerteza da Capacidade Obtida - Bateria A.

4.1.2.1.

Contribuição de incerteza da componente corrente de descarga.

I - Componente de incerteza resistência de referência sem redução da frequência de aquisição.

A resistência de referência tem como componentes de incerteza:

1-Repetitividade (Re) dos valores observados da resistência de referência: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da resistência de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental é igual a $s(resref) = 0,001\Omega$, e a média aritmética é igual a $\overline{resref} = 0,18 \Omega$, calculados para uma população de 74 medições. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = 74 - 1 = 73$.

$$Re = 0,001\Omega$$

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970 A (em função do tempo decorrido após calibração);

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração, em ohms (Ω): incerteza do tipo B. O respectivo erro total de medição para a faixa de medição de resistência a uma entrada de $0,18\Omega$ e uma escala de 100Ω , calculado de acordo com as eq. (19) e (20), é:

$$I_{cm} = 0,001 \Omega$$

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970 A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do multímetro Agilent 34970 A ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Cálculo da Incerteza combinada total da resistência de referência;

Estimativa da incerteza combinada para a resistência de referência sem redução da frequência de aquisição, calculada de acordo com a eq. (21), é:

Tabela 7-Contribuição de incerteza da resref. para I_{desc} sem redução da frequência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS RESISTENCIA DA REFER.				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (Ω)	Tipo distrib.	divisor	u (Ω)	v (un)
Re	Repetitividade	0,001	normal	1	0,0010	73
lcm	Incerteza medidor	0,0020	retangular	1,732	0,0012	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,531E-03	401,44

II - Componente de incerteza da tensão da referência sem redução da frequência de aquisição.

À tensão de referência é acrescido o valor das seguintes fontes de incertezas:

1-Repetitividade (Re) dos valores observados da tensão de referência: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da tensão elétrica contínua de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental é igual a $s(tennref) = 0,01V$ e a média aritmética é igual a $\overline{tenref} = 0,88V$, calculados para uma população de 1047 medições. O número de graus de liberdade envolvido é: $v = 1047 - 1 = 1046$.

$$Re = 0,01V$$

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função do tempo decorrido após calibração);

Erro detectado em função do tempo decorrido após calibração, em ohms (Ω): incerteza do tipo B. O respectivo erro total de medida para a faixa de medição de tensão elétrica contínua, a uma entrada de 0,88V e uma escala de 1Volt, calculado de acordo com as eq. (19) e (20), é:

$$l_{cm} = 1,22 \cdot 10^{-5} V$$

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do multímetro Agilent 34970 A ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Cálculo da incerteza combinada total da tensão de referência.

Estimativa da incerteza combinada para a tensão de referência sem redução da frequência de aquisição, calculado de acordo com a eq. (22):

Tabela 8-Contribuição de incerteza da tenref. para I_{desc} sem redução da frequência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS TENSÃO DE REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0091	normal	1	0,0091	1046
lcm	Incerteza medidor	0,00002	retangular	1,732	1,221E-05	∞
uc	Incerteza combinada		normal		9,100E-03	1046

III - Componente de incerteza I_{desc} sem redução da frequência de aquisição.

Para cálculo da incerteza combinada da corrente de descarga utiliza-se a eq. (24).

Tabela 9-Contribuição de incerteza da I_{desc} sem redução da frequência de aquisição – Bateria A.

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CORRENTE DE DESCARGA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (A)	v (un)
tenref	Tensão Ref.	9,1000E-03	normal	1	0,0091	1046
resref	Resistência Ref.	0,0015	retangular	1	0,0015	73
uc	Incerteza combinada		normal		6,814E-02	3E+06
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1363	

O resultado final da corrente de descarga é:

$$I_{\text{desc}} = (5,04 \pm 0,14) \text{ A}$$

4.1.2.2.

Contribuição de incerteza da componente temperatura da bateria.

À temperatura do banho é acrescido o valor das seguintes fontes de incertezas:

1-Repetitividade (Re) dos valores de resistências observados pelo termômetro PT100: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da resistência de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental é igual a $s(PT100)=0,02\Omega$ e a média aritmética é igual a $\overline{PT100}=109,98\Omega$, calculados para uma população de 1047 medições. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = 1047 - 1 = 1046$.

$$Re = 0,02 \Omega$$

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970A;

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração, em ohms (Ω): incerteza do tipo B. Resulta dos valores contidos no manual do multímetro Agilent 34970A que apresenta o respectivo erro total de medições para a faixa de medição de resistência a uma entrada de $109,98\Omega$ e uma escala de 1000Ω :

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do multímetro Agilent 34970A ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Incerteza da calibração do termômetro de platina PT100;

O efeito desta fonte é estimado tendo por base dados já existentes decorrentes de uma calibração previamente realizada e apresentada no certificado de calibração no anexo A. Neste certificado a incerteza padrão para a faixa de temperatura do banho é de $0,01^{\circ}\text{C}$.

Esta fonte de incerteza é considerada como incerteza do tipo A.

I - Contribuição da componente temperatura para o mensurando.

Estimativa da incerteza combinada para a temperatura sem redução da frequência de aquisição, calculada de acordo com a eq. (28):

Tabela 10-Contribuição de incerteza da temperatura para o mensurando sem redução da frequência de aquisição – Bateria A.

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS DA TEMPERATURA (°C)				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (°C)	v (un)
u(Re, lcm)	Repetit./medidor	0,0570	normal	1	0,0569918	1046
Incalib	Certif. PT100	0,01	normal	1	0,01	∞
uc	Incerteza combinada		normal		5,786E-02	1111
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1157	

Calcula-se a incerteza combinada da repetitividade mais a incerteza do multímetro Agilent, dados em ohms, fazendo a conversão para grau Celsius através das eq. (28) e (29). Depois, calcula-se a incerteza combinada da temperatura de acordo com a eq. (30), convertendo-a para ampère-hora de acordo com a relação de 1% de variação na capacidade a cada grau Celsius. Os valores de cada fonte de incerteza devem estar expressos na mesma unidade do mensurando, em ampère-hora (Ah).

$$\text{temp} = (25,5 \pm 0,1)^{\circ}\text{C}$$

4.1.2.3.

Contribuição de incerteza da componente tensão de corte.

Neste experimento, a tensão de corte estipulada pelo PBE é igual a 1,75 vezes o número de elementos, ou seja, 10,5V para uma bateria com 6 elementos.

A tensão de corte contribui como fonte de incerteza para o mensurando através da corrente de descarga e como a contribuição desta já foi considerada no item 4.1.4.1., torna-se desnecessário novo cálculo.

4.1.2.4.

Contribuição de incerteza da componente tempo da descarga.

O tempo de descarga depende da tensão de corte e da corrente de descarga. A influência, no cálculo de incerteza de medição, da corrente de descarga e da tensão de corte já foi considerada nos itens 4.1.2.1 e 4.1.2.3., respectivamente.

4.1.2.5.

Contribuição de incerteza da componente idade da bateria.

Como a bateria é de fabricação recente e sua temperatura é controlada no ensaio, esta componente de incerteza adicional não é introduzida.

4.1.2.6.

Contribuição de incerteza da componente autodescarga.

A Fig. 46 mostra o gráfico de autodescarga da bateria A. A temperatura é um acelerador do processo, de acordo com o item 3.3.5.

Com o tratamento prévio esta componente de incerteza adicional não é introduzida.

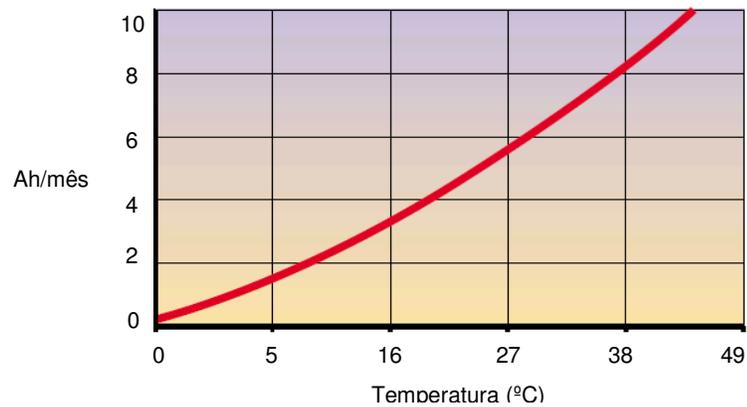


Figura 46-Gráfico de taxa de autodescarga da bateria A [22].

4.1.2.7.

Incerteza de medição do mensurando sem redução frequência de aquisição.

A Tabela 11 combina as fontes de incerteza do mensurando capacidade, cuja incerteza combinada foi calculada de acordo com a eq. (31).

Tabela 11-Incerteza de medição do mensurando sem redução da frequência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CO				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u(Ah)	v (un)
I	Idescarga	0,0681	normal	1	0,0681	1046
temp	Temperatura	0,0579	normal	1	0,0579	3635
uc	Incerteza combinada		normal		1,247E+00	1E+08
Uc	Incerteza expandida		normal		2,4942	

$$U(CO) = CO \times \sqrt{\frac{u(I_{desc})}{I_{desc}} + \frac{u(\Delta t)}{\Delta t} + u(temp)^2 + u(autodesc)^2 + u(idade)^2 + u(tencorte)^2}$$

O resultado final da Capacidade é:

$$CO = (88,0 \pm 2,5) \text{ Ah}$$

4.1.2.8.

Incerteza de medição do mensurando com redução freqüência de aquisição.

As Tabelas 12, 13, 14, e 15 mostram a incerteza combinada de cada fonte de incerteza do mensurando capacidade, com redução da freqüência de aquisição.

1. Componente de incerteza I_{desc} com redução da freqüência de aquisição.

Tabela 12-Contribuição de incerteza da ResRef. para I_{desc} . com redução da freqüência de aquisição. – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS RESISTENCIA DA REFER.				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (Ω)	Tipo distrib.	divisor	u (Ω)	v (un)
Re	Repetitividade	0,00076109	normal	1	0,0008	7
Icm	Incerteza medidor	0,0020	retangular	1,73205	0,0012	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,387E-03	77,2386

Tabela 13-Contribuição de incerteza da tenref. para I_{desc} . com redução da freqüência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS TENSÃO DE REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
Re	Repetitividade	0,009	normal	1	0,009	104
Icm	Incerteza medidor	0,00002	retangular	1,73205	1,210E-05	∞
uc	Incerteza combinada		normal		9,000E-03	104

Tabela 14-Contribuição de incerteza da I_{desc} para o mensurando com redução da freqüência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CORRENTE DE DESCARGA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (A)	v (un)
tenref	Tensão Ref.	9,00E-03	normal	1	0,0090	104
resref	Resistência Ref.	0,0014	retangular	1	0,0014	7
uc	Incerteza combinada		normal		6,50E-02	2,8+7
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1301	

O resultado final da corrente de descarga é:

$$I_{desc} = (4,98 \pm 0,13) \text{ A}$$

2. Componente de incerteza temperatura com redução da frequência de aquisição.

Tabela 15-Contribuição de incerteza da temperatura para o mensurando com redução da frequência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS DA TEMPERATURA (°C)				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (°C)	v (un)
u(Re, lcm)	Repetit./medidor	0,0557	normal	1	0,0557394	104
Incalib	Certif. PT100	0,01	normal	1	0,01	∞
uc	Incerteza combinada		normal		5,663E-02	110,8
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1133	

O resultado final da temperatura é:

$$\text{Temp} = (25,5 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Incerteza do mensurando com redução da frequência de aquisição.

A Tabela 16 combina as fontes de incerteza do mensurando capacidade com redução da frequência de aquisição, cuja incerteza combinada foi calculada de acordo com a eq. (31).

Tabela 16-Incerteza do mensurando com redução da frequência de aquisição – Bateria A

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS COFq				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (Ah)	v (un)
I	Idescarga	0,0650	normal	1	0,0650	104
temp	Temperatura	0,0566	normal	1	0,0566	3635
uc	Incerteza combinada		normal		1,193E+00	1E+07
Uc	Incerteza expandida		normal		2,3850	

O resultado final da Capacidade é:

$$\text{COFq} = (87,0 \pm 2,4) \text{ Ah}$$

4.1.2.10.

Análise dos resultados obtidos no ensaio da bateria A

Analisando o procedimento do anexo C, observa-se que no item “Tratamento Prévio” não foi estipulado um valor de temperatura para o banho termostaticado; somente foi fixada uma faixa de estabilidade de $\pm 2^\circ\text{C}$. Como exposto, a temperatura influencia na capacidade da bateria na razão de, aproximadamente, 1% para cada grau Celsius, para temperaturas acima de $21,1^\circ\text{C}$ ou 70°F .

No procedimento do anexo C a temperatura do banho termostaticado do Tratamento Prévio ficou a critério de cada laboratório, o que prejudica qualquer comparação de resultados interlaboratoriais, e aumenta a incerteza da medição. Também o nível da água no banho ficou sem definição, a bateria pode ser submetida a temperaturas desiguais em suas dimensões.

Uma temperatura de operação abaixo da especificada pelo fabricante é causa de redução de capacidade, uma vez que os processos de carga e descarga de uma bateria se processam mais lentamente a baixas temperaturas. A determinação desta redução resultante é feita consultando as curvas de carga e descarga a diferentes temperaturas, estas curvas são, geralmente, fornecidas pelo fabricante da bateria. Na falta destas curvas utiliza-se o exposto no item 3.3.2., ou seja, aproximadamente 1% de variação na capacidade por cada grau Celsius de elevação de temperatura para temperaturas acima de 21,1°C.

Apesar de ser um tratamento preliminar, o resultado do tratamento prévio influencia no resultado do ensaio de Capacidade Obtida. Portanto, deve-se prestar bastante atenção a este ensaio, principalmente, no que diz respeito à temperatura, taxa de descarga e aos métodos de carregamento da bateria. A cada novo ciclo deste ensaio, a bateria A não conseguia alcançar plena carga.

Ao consultar o manual do fabricante da bateria A, constatou-se que a capacidade nominal especificada, na tabela de características elétricas, era dada para uma temperatura operacional de 27°C. Esta consulta foi realizada informalmente pela internet, mas o fabricante deveria ter enviado material com características técnicas junto com a bateria.

As temperaturas médias dos quatro ciclos do Tratamento Prévio (temperatura da descarga) ficaram bem abaixo da temperatura de operação da bateria, fazendo com que a mesma chegasse ao teste de capacidade obtida com baixa capacidade.

Como exemplo, a temperatura do banho termostaticado: $(21,78 \pm 0,68)$ °C, do 4º ciclo do tratamento prévio da bateria A, oscilou entre 21,10°C e 22,46°C. Sabe-se que a capacidade (88,93Ah) varia na razão de 1% por grau Celsius de variação de temperatura do banho em relação à temperatura da bateria (27°C).

Os efeitos sistemáticos podem ser considerados nas três formas seguintes:

- 1) Quando se conhece, antecipadamente, a redução ou aumento de temperatura do banho em relação à temperatura especificada

para operação da bateria, deve-se fazer a correção na capacidade antes de iniciar-se o ensaio.

- 2) Fazer a compensação dos efeitos sistemáticos na apresentação do resultado da medição, ou, na pior das hipóteses, considerar a soma dos valores absolutos das parcelas sistemáticas não compensadas na estimativa da incerteza resultante. Neste caso, deve-se somar o módulo da correção de temperatura, algebricamente, à incerteza expandida. A incerteza resultante se eleva no processo de medição, o que não é recomendável.
- 3) A 3ª solução seria corrigir as capacidades obtidas nos ensaios, para uma temperatura de referência (25°C).

Utilizando-se a forma de correção nº1, deve-se corrigir a capacidade nominal especificada pelo fabricante, antes de iniciar-se o ensaio, para temperatura de trabalho, e depois corrigir a variação dos valores encontrados na temperatura média. Por exemplo, sabe-se antecipadamente que a bateria A seria ensaiada numa temperatura de 21°C. As características elétricas desta bateria são dadas para uma temperatura de 27°C[22]. Sua capacidade (100 Ah) deveria ser corrigida para uma temperatura de 21°C antes de iniciar-se o ensaio, usando a relação de 1% de variação na capacidade para cada grau Celsius de variação na temperatura, que resultaria em um valor de (100Ah – 6Ah = 94Ah). A temperatura média calculada foi de $(21,50 \pm 0,89)^\circ\text{C}$, ou seja, ainda teríamos de fazer correção ao fim do ensaio. Como o ensaio não foi realizado utilizando esta capacidade, nada se pode afirmar quanto aos resultados.

Na 2ª forma de correção, utilizando-se como exemplo o 4º ciclo do tratamento prévio da bateria A, temos para o limite superior da temperatura (22,46°C) que corresponde a 4,64Ah a menos na capacidade da bateria e, para o limite inferior da temperatura, (21,10°C), resultando em 5,22°C ou 4,64Ah a menos nesta mesma capacidade. O valor médio 5,22°C ou 4,64Ah corresponde à melhor estimativa da parcela sistemática. Outra solução seria incluir este valor na incerteza de medição, e isto aumentaria em muito o valor de incerteza.

A correção combinada neste experimento devido à variação da temperatura do banho termostatizado apresenta o valor de 4,64Ah e a incerteza expandida calculada é igual a 2,63Ah. O resultado final da medição seria: $(88,93 + 4,64) \pm 2,63 = (93,6 \pm 2,6) \text{ Ah}$.

Outra forma de se fazer o cálculo seria, na pior das hipóteses, não compensar os efeitos sistemáticos como realizado no parágrafo anterior. Porém,

a parcela sistemática elevaria a incerteza total da medição. A incerteza resultante, neste caso, considera o módulo da correção combinada somada algebricamente com a incerteza expandida, calculada anteriormente. Logo a nova incerteza expandida será: $4,64 + 2,63 = 7,27\text{Ah}$. Nota-se que piora, em muito, a incerteza da medição. O resultado final da medição, neste caso, seria de: $\text{CO} = (88,9 \pm 7,3) \text{ Ah}$.

Com uma capacidade corrigida de $(93,6 \pm 2,6) \text{ Ah}$ no 4º ciclo do tratamento prévio, conclui-se que a influência da temperatura, no teste de Capacidade Obtida, seria grande e a bateria poderia ter cumprido a exigência dos procedimentos do PBE (95% da capacidade nominal especificada pelo fabricante) se tivesse sido testada a 27°C e se os cálculos de incerteza de medição fossem considerados nos procedimentos.

A 3ª forma de correção seria a de considerar uma temperatura de referência (25°C) e todas as baterias teriam suas capacidades corrigidas, após ensaios, para esta temperatura mantendo-se as respectivas incertezas.

O ideal é que tivéssemos um número de baterias suficientes que permita extrair conclusões utilizando vários métodos de carga, outras taxas de descarga, temperaturas de operação diferentes, várias tensões de corte, e outros ensaios.

Também nada foi mencionado sobre qual deve ser a idade da bateria, o tipo e temperatura de armazenamento e manual das características técnicas da mesma antes de ser entregue ao laboratório. Deve existir um compromisso dos fabricantes, de forma a garantir que estes dados sejam fornecidos ao laboratório antes do ensaio (oficialmente), já que exercem grande influência na capacidade da bateria e no cálculo da incerteza de medição.

Quanto ao tempo do ensaio, a plena carga da bateria foi considerada quando a corrente se estabiliza por três horas consecutivas na carga com tensão constante, o que torna o processo de carga muito longo. O ideal é encontrar um outro meio de carregar a bateria de forma a diminuir o tempo de carga.

A frequência de aquisição também deve ser considerada no procedimento porque influencia no cálculo da incerteza de medição. Os valores das variáveis obtidos sem e com redução da frequência de aquisição são muito semelhantes, sendo isto um indicativo de que no próximo procedimento a frequência de aquisição pode ser reduzida.

Há muitos tipos de baterias e muitos fatores que afetam sua autonomia. Para caracterizar a autonomia das baterias, existem muitos modelos matemáticos diferentes, mas nenhum destes modelos é completamente preciso e nem inclui todos os fatores que a afetam.

4.1.3.

Análise das fontes de incerteza da Capacidade Obtida - Bateria B.

4.1.3.1.

Contribuição de incerteza da componente corrente de descarga.

I - Componente de incerteza resistência de referência sem redução da frequência de aquisição.

A resistência de referência tem como componentes de incerteza:

1-Repetitividade (Re) dos valores observados da resistência de referência: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da resistência de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental, é igual a $s(resref)=0,001\Omega$ e a média aritmética é igual a $\overline{resref} = 0,18\Omega$, calculados para uma população de 409 medições. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = 409 - 1 = 408$.

$$Re = 0,001\Omega$$

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970 A (em função do tempo decorrido após calibração);

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração, em ohms (Ω): incerteza do tipo B.

O respectivo erro total de medição para a faixa de medição de resistência a uma entrada de $0,18\Omega$ e uma escala de 100Ω é calculado usando-se as eq. (19) e (20).

$$lcm = 0,001\Omega$$

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do Agilent 34970A ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Cálculo da Incerteza combinada total da resistência de referência;

Estimativa da incerteza combinada para a resistência de referência sem redução da frequência de aquisição, calculado de acordo com a eq. (21).

Tabela 17-Contribuição de incerteza da resref. para I_{desc} . sem redução da frequência de aquisição-Bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS RESISTENCIA DA REFER.				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (Ω)	Tipo distrib.	divisor	u (Ω)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0008443	normal	1	0,0008	408
lcm	Incerteza medidor	0,0020	retangular	1,732	0,0012	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,435E-03	3400

É aconselhável calcular a incerteza expandida somente no final dos cálculos do mensurando capacidade.

II - Componente de incerteza da tensão de referência sem redução da frequência de aquisição.

À tensão de referência é acrescido o valor das seguintes fontes de incertezas:

1-Repetitividade (Re) dos valores observados da tensão de referência: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da tensão elétrica contínua de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental é igual a $s(tennref) = 0,01V$ e a média aritmética é igual a $\overline{tenref} = 0.89V$, calculados para uma população de 186 medições. O número de graus de liberdade envolvido é: $v = 186 - 1 = 185$.

$$Re = 0,01V$$

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função do tempo decorrido após calibração);

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração, em ohms (Ω): incerteza do tipo B.

Resulta dos valores contidos no manual do multímetro Agilent 34970A. Os efeitos desta fonte são estimados tendo por base dados existentes no referido manual, admitindo-se tempo decorrido de 1 ano após calibração e com

temperatura operacional normal de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Assume-se como uma distribuição retangular.

O manual do instrumento apresenta o respectivo erro total de medida para a faixa de medição de tensão elétrica contínua a uma entrada de 0,89V e uma escala de 1 V e de acordo com as equações de números 19 e 20.

$$l_{cm} = 1,23 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do Agilent 34970 A ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Cálculo da incerteza combinada total da tensão de referência.

Estimativa da incerteza combinada para a tensão de referência, sem redução da frequência de aquisição, é calculada de acordo com a eq. (23).

Tabela 18-Contribuição de incerteza da tenref. para I_{desc} . sem redução da frequência de aquisição.-Bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS TENSÃO DE REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0105	normal	1	0,0105	185
lcm	Incerteza medidor	0,00002	retangular	1,732	1,231E-05	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,050E-02	185,001

III - Componente de incerteza I_{desc} sem redução da frequência de aquisição.

Para cálculo da incerteza combinada da corrente de descarga tem-se uma medição indireta calculada através da lei de ohm. Usa-se a eq. (24) para cálculo de incerteza desta componente.

Tabela 19-Contribuição de incerteza da I_{desc} sem redução da frequência de aquisição-Bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CORRENTE DE DESCARGA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u(A)	v
tenref	Tensão Ref.	1,0500E-02	normal	1	0,0105	185
resref	Resistência Ref.	0,0014	retangular	1	0,0014	408
uc	Incerteza combinada		normal		0,0731	433523
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1461	

O resultado final da corrente de descarga é:

$$I_{desc} = (5,10 \pm 0,15) \text{ A}$$

4.1.3.2.

Contribuição de incerteza da componente temperatura da bateria.

Aconselha-se consulta ao manual do equipamento, antes de qualquer tomada de decisão.

À temperatura do banho é acrescido o valor das seguintes fontes de incertezas:

1-Repetitividade (Re) dos valores de resistências observados pelo termômetro PT100: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da resistência de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental é igual a $s(PT100)=0,04\Omega$ e a média aritmética é igual a $\overline{PT100} = 110,04\Omega$, calculados para uma população de 186 medidas. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = 186 - 1 = 185$.

$$Re = 0,04\Omega$$

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970 A;

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração, em ohms (Ω): incerteza do tipo B.

Resulta dos valores contidos no manual do multímetro Agilent 34970A. Os efeitos desta fonte são estimados tendo por base dados existente no referido manual, admitindo-se tempo decorrido de 1 ano após calibração e com temperatura operacional normal de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Assume-se como uma distribuição retangular.

O manual do instrumento apresenta o respectivo erro total de medida para a faixa de medição de resistência a uma entrada de $110,04\Omega$ e uma escala de 1000Ω , de acordo com as eq. (19) e (20).

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do Agilent 34970 A ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Incerteza da calibração do termômetro de platina PT100;

O efeito desta fonte é estimado tendo por base dados já existentes decorrentes de uma calibração previamente realizada e apresentada no certificado de calibração no anexo A. Neste certificado a incerteza padrão para a faixa de temperatura do banho é de $0,01^{\circ}\text{C}$.

Esta fonte de incerteza é considerada como incerteza do tipo A.

I - Contribuição da componente temperatura para o mensurando.

Estimativa da incerteza combinada para a temperatura sem redução da frequência de aquisição:

Tabela 20-Contribuição de incerteza da temperatura para o mensurando sem redução da frequência de aquisição-Bateria B.

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS DA TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u ($^{\circ}\text{C}$)	v (un)
u(Re, lcm)	Repetit./medidor	0,0967	normal	1	0,0966653	185
Incalib	Certif. PT100	0,01	normal	1	0,01	∞
uc	Incerteza combinada		normal		9,718E-02	189
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1944	

Calcula-se a incerteza combinada da repetitividade mais a incerteza do multímetro Agilent, dados em ohms, fazendo a conversão para grau Celsius através das eq. (28) e (29). Depois se calcula a incerteza combinada da temperatura de acordo com a eq. (30), convertendo-a para Ah de acordo com a relação de 1% de variação na capacidade a cada grau Celsius. Os valores de cada fonte de incerteza devem estar expressos na mesma unidade do mensurando (Ah).

O resultado final da temperatura é:

$$\text{temp.} = (25,7 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$$

4.1.3.3.**Contribuição de incerteza da componente tensão de corte.**

Neste experimento, a tensão de corte estipulada pelo PBE é igual a 1,75 vezes o número de elementos, ou seja, 10,5V para uma bateria com 6 elementos.

A tensão de corte contribui como fonte de incerteza para o mensurando, através da corrente de descarga e, como a contribuição desta já foi considerada no item 4.1.4.1., torna-se desnecessário novo cálculo.

4.1.3.4.**Contribuição de incerteza da componente tempo da descarga**

O tempo de descarga depende da tensão de corte e da corrente de descarga. A influência da incerteza das componentes, corrente de descarga e a tensão de corte, para o mensurando já foi considerada nos itens 4.1.4.1. 4.1.4.3., respectivamente.

4.1.3.5.**Contribuição de incerteza da componente idade da bateria**

Como a bateria é de fabricação recente e sua temperatura é controlada no ensaio, esta componente de incerteza adicional não é introduzida.

4.1.3.6.**Contribuição de incerteza da componente autodescarga**

Com o tratamento prévio esta componente de incerteza adicional não é introduzida.

4.1.3.7.**Incerteza de medição do mensurando sem redução da frequência de aquisição.**

A Tabela 21 combina as fontes de incerteza do mensurando capacidade, cuja incerteza combinada foi calculada de acordo com a eq. (31).

Tabela 21-Incerteza do mensurando sem redução da frequência de aquisição-Bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CO				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (Ah)	v (un)
I	I _{descarga}	0,0731	normal	1	0,0731	185
temp	Temperatura	0,0972	normal	1	0,0972	3635
uc	Incerteza combinada		normal		1,230E+00	1E+07
Uc	Incerteza expandida		normal		2,4590	

$$U(CO)=CO \times \sqrt{\frac{u(I_{desc})}{I_{desc}} + \frac{u(\Delta t)}{\Delta t} + u(temp)^2 + u(autodesc)^2 + u(idade)^2 + u(tencorte)^2}$$

O resultado final da Capacidade é:

$$CO = (79,1 \pm 2,5) \text{ Ah}$$

4.1.3.8.

Incerteza de medição do mensurando com redução da frequência de aquisição.

As Tabelas 22, 23, 24, e 25 mostram a incerteza combinada de cada fonte de incerteza do mensurando capacidade, com redução da frequência de aquisição.

1. Componente de incerteza I_{desc} com redução da frequência de aquisição.

Tabela 22-Contribuição de incerteza da resref para I_{desc} com redução da frequência de aquisição-Bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS RESISTENCIA DA REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (Ω)	Tipo distrib.	divisor	u (Ω)	v (un)
Re	Repetitividade	0,00077851	normal	1	0,0008	102
lcm	Incerteza medidor	0,0020	retangular	1,73205	0,0012	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,397E-03	1056,9

Tabela 23-Contribuição de incerteza da tenref para I_{desc} com redução da frequência de aquisição-Bateria B.

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS TENSÃO DE REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0103	normal	1	0,0103	46
lcm	Incerteza medidor	0,00002	retangular	1,73205	1,219E-05	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,030E-02	46,00

Tabela 24-Contribuição de incerteza da I_{desc} para o mensurando com redução da frequência de aquisição -Bateria B.

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CORRENTE DE DESCARGA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (A)	v (un)
tenref	Tensão Ref.	1,0300E-02	normal	1	0,0103	46
resref	Resistência Ref.	0,0014	retangular	1	0,0014	102
uc	Incerteza combinada		normal		7,165E-02	1E+05
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1433	

2. Componente de incerteza temperatura com redução da frequência de aquisição.

Tabela 25-Contribuição de incerteza da temperatura para o mensurando com redução da faq.-Bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS DA TEMPERATURA (°C)				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
u(Re, lcm)	Repetit./medidor	0,0951	normal	1	0,0951395	46
Incalib	Certif. PT100	0,01	normal	1	0,01	∞
uc	Incerteza combinada		normal		9,566E-02	47,02
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1913	

3. Incerteza do mensurando capacidade com redução da frequência de aquisição.

A Tabela 26 combina as fontes de incerteza do mensurando capacidade com redução da frequência de aquisição, cuja incerteza combinada foi calculada de acordo com a eq. (31).

Tabela 26-Incerteza do mensurando com redução da frequência de aquisição - bateria B

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS COFq				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (Ah)	v (un)
I	Idescarga	0,0717	normal	1	0,0717	46
temp	Temperatura	0,0957	normal	1	0,0957	3635
uc	Incerteza combinada		normal		1,207E+00	4E+06
Uc	Incerteza expandida		normal		2,4132	

O resultado final da Capacidade é:

$$COFq = (78,1 \pm 2,4) \text{ Ah}$$

4.1.3.9.

Análise dos resultados da Bateria B.

A bateria B não conseguiu atingir a plena carga nos três ciclos iniciais do tratamento prévio. Decidiu-se no quarto ciclo que a bateria ficaria o tempo necessário para atingir a plena carga, como no procedimento C do PBE, mas a bateria também não conseguiu atingir a plena carga. Ao consultar o fabricante, conforme procedimento D, a sugestão dada foi que se realizasse mais um ciclo, elevando o nível da tensão da carga de corrente para 15,6 V, ou, no máximo, 16V. Esta é uma tensão de carga que deverá ser aplicada somente em casos excepcionais. Por exemplo, após descargas profundas, repetidas recargas insuficientes ou descargas consecutivas. O objetivo da realização deste ensaio extra é verificar se a bateria havia perdido carga ou estava em descarga profunda.

4.1.4.

Resultados dos ensaios de Capacidade Obtida no ciclo extra (15,6V).

4.1.4.1.

Ensaio da bateria A com tensão 15,6V.

Este ensaio não foi realizado na bateria A porque, na época em que foi testado, o procedimento de etiquetagem de bateria adotado pelo PBE não permitia nenhuma abertura quanto a este assunto.

4.1.4.2.

Ensaio da bateria B com tensão 15,6V.

Na bateria B foi possível realizar este ensaio porque o procedimento de etiquetagem de bateria, adotado pelo PBE, permitia abertura quanto a este assunto. O fabricante foi consultado e fez algumas sugestões, que serão válidas se tornadas públicas e foram usadas, somente, para verificar se a bateria havia perdido carga ou estava descarregada.

4.1.4.3.

Análise das fontes de incerteza sem redução da frequência de aquisição.

As Tabelas 28, 29, 30, e 31 mostram as contribuições das fontes de incerteza do mensurando, capacidade, no ciclo extra da bateria B, sem redução da frequência de aquisição.

Tabela 28-Contribuição de incerteza da resref para I_{desc} sem redução da frequência de aquisição-Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS RESISTENCIA DA REFER.				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (Ω)	Tipo distrib.	divisor	u(Ω)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0003754	normal	1	0,0004	185
lcm	Incerteza medidor	0,0020	retangular	1,732	0,0012	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,219E-03	20571

Tabela 29-Contribuição de incerteza da tenref para I_{desc} sem redução da frequência de aquisição -Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS TENSÃO DE REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0093	normal	1	0,0093	224
lcm	Incerteza medidor	0,00002	retangular	1,732	1,250E-05	∞
uc	Incerteza combinada		normal		9,300E-03	224

Tabela 30-Contribuição da temperatura para o mensurando sem redução da frequência de aquisição-Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS DA TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u ($^{\circ}\text{C}$)	v (un)
u(Re,lcm)	Repetit./medidor	0,0509	normal	1	0,051	224
Incalib	Certif. PT100	0,01	normal	1	0,01	∞
uc	Incerteza combinada		normal		5,185E-02	241,6
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1037	

Tabela 31-Contribuição da I_{desc} para o mensurando sem redução da frequência de aquisição-Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CORRENTE DE DESCARGA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (A)	v (un)
tenref	Tensão Ref.	9,3000E-03	normal	1	0,0093	224
resref	Resistência Ref.	0,0012	retangular	1	0,0012	185
uc	Incerteza combinada		normal		6,467E-02	5E+05
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1293	

4.1.4.4.**Incerteza de medição do mensurando sem redução da frequência de aquisição.**

A Tabela 32 mostra o resultado final da Capacidade Obtida no ciclo extra da bateria B, sem redução da frequência de aquisição.

Tabela 32-Incerteza do mensurando sem redução da frequência de aquisição-Bateria B - (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CO				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (Ah)	v (un)
I	I _{descarga}	0,0647	normal	1	0,0647	224
temp	Temperatura	0,0519	normal	1	0,0519	3635
uc	Incerteza combinada		normal		1,264E+00	3E+07
Uc	Incerteza expandida		normal		2,5275	

$$CO = (97,6 \pm 2,5) \text{ Ah}$$

4.1.4.5.**Análise das fontes de incerteza com redução da frequência de aquisição.**

As Tabelas 33, 34, 35, e 36 mostram as contribuições das fontes de incerteza do mensurando, capacidade, no ciclo extra da bateria B, com redução da frequência de aquisição.

Tabela 33-Contribuição de incerteza da resref para I_{desc} com redução frequência de aquisição - Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS RESISTENCIA DA REFER.				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (Ω)	Tipo distrib.	divisor	u (Ω)	v (un)
Re	Repetitividade	0,0003116	normal	1	0,0003	46
lcm	Incerteza medidor	0,0020	retangular	1,732	0,0012	∞
uc	Incerteza combinada		normal		1,201E-03	10144

Tabela 34-Contribuição de incerteza da tentef para I_{desc} com redução frequência de aquisição - Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS TENSÃO DE REFERÊNCIA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto (V)	Tipo distrib.	divisor	u (V)	v (un)
Re	Repetitividade	0,009	normal	1	0,009	56
lcm	Incerteza medidor	0,00002	retangular	1,732	1,237E-05	∞
uc	Incerteza combinada		normal		9,000E-03	56

Tabela 35-Contribuição de incerteza da temperatura para o mensurando com redução frequência de aquisição - Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS DA TEMPERATURA (°C)				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (°C)	v (un)
u(Re, lcm)	Repetit./medidor	0,0494	normal	1	0,0493961	56
Incalib	Certif. PT100	0,01	normal	1	0,01	∞
uc	Incerteza combinada		normal		5,040E-02	60,68
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1008	

Tabela 36-Contribuição da I_{desc} para o mensurando com redução da frequência de aquisição-Bateria B (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CORRENTE DE DESCARGA				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (A)	v (un)
tenref	Tensão Ref.	9,0000E-03	normal	1	0,0090	56
resref	Resistência Ref.	0,0012	retangular	1	0,0012	46
uc	Incerteza combinada		normal		6,289E-02	1E+05
Uc	Incerteza expandida		normal		0,1258	

4.1.4.6.

Incerteza de medição do mensurando com redução da frequência de aquisição.

A Tabela 37 mostra o resultado final da Capacidade Obtida no ciclo extra da bateria B, com redução da frequência de aquisição.

Tabela 37-Incerteza do mensurando com redução da frequência de aquisição-Bateria B - (ciclo extra)

FONTES DE INCERTEZAS		EFEITOS ALEATÓRIOS CO _{fq}				
Símbolo	Descrição	Valor bruto	Tipo distrib.	divisor	u (Ah)	v (un)
I	I _{descarga}	0,0629	normal	1	0,0629	56
temp	Temperatura	0,0504	normal	1	0,0504	56
uc	Incerteza combinada		normal		1,229E+00	6E+06
Uc	Incerteza expandida		normal		2,4575	

$$CO_{fq} = (96,5 \pm 2,5) \text{ Ah}$$

4.1.4.7. Análise dos resultados do ciclo extra (15,6V).

Os resultados obtidos no ensaio de capacidade mostram que a bateria estava descarregada e não com perda de capacidade. Como o procedimento pede que a capacidade seja maior que 95% da nominal, e sendo a capacidade nominal da bateria 100Ah, a bateria encontra-se em conformidade com o procedimento.

Segundo um representante do fabricante da bateria B, o risco de se testar a bateria com tensão de 15,6V o tempo todo é secar a água do eletrólito e o risco de se utilizar tensão mais baixa é ela nunca se recarregar plenamente. A sugestão é carregar com corrente constante até que a tensão atinja 15,6V e a seguir, fazer carga com tensão constante em 14,4V.

Se a produção dos gases for bem rápida, as bolhas dos gases que se soltam agitam a mistura ácida, tornando-a mais homogênea, o que é benéfico para a bateria, uma vez que o material ativo depositado no fundo, após várias cargas e descargas, retorna à solução [12].

Ao se testar a amostra B com tensão limite da carga com corrente constante em 15,6V, a bateria não foi colocada em sobrecarga contínua. O que não pode ocorrer é aumentar a tensão por um longo período, motivo pelo qual o representante do fabricante sugeriu a mudança do valor da tensão na carga com tensão constante em 14,4V.

Uma sobrecarga prolongada pode acelerar o envelhecimento dos componentes internos e ocasionar a perda de eletrólito.

A capacidade da bateria aumentou de 79,1Ah para 97,6Ah, e a incerteza de medição associada à capacidade foi, neste ciclo, 2,5Ah; todos esses valores sem e com redução da frequência de aquisição estão registrados nas tabelas de resultados.

Este teste foi realizado somente para se poder fazer uma crítica, o ideal é que o procedimento seja obedecido, independente do estado de carga da bateria.

4.2.

Resultados obtidos nos ensaios de Tratamento Prévio – Bateria A.

Nas Tabelas 38 e 39 estão registrados os resultados obtidos no ensaio Tratamento Prévio da bateria A, sem e com redução da frequência de aquisição, respectivamente. Todos os dados foram calculados com o auxílio do programa MATLAB e das equações constantes nos capítulos 2 e 3.

Para o cálculo de temperatura utilizou-se a eq. (28), para o cálculo da capacidade a eq. (31) e para o cálculo de corrente de descarga a eq. (24).

Os procedimentos aos quais foi submetida a bateria A não especificava uma temperatura de ensaio no Tratamento Prévio e como o fabricante não enviou, oficialmente, um manual de características técnicas, o laboratório arbitrou uma temperatura.

Verificou-se, após realização do ensaio, que a temperatura de operação da bateria A, constante em um material técnico na Internet, era de 27°C. Isto comprometia a capacidade obtida no Tratamento Prévio e conseqüentemente o ensaio de Capacidade Obtida.

Ao se corrigir a capacidade da bateria A no 4º ciclo do Tratamento Prévio, devido ao fato da temperatura de operação ser diferente da temperatura de ensaio, observa-se que o valor corrigido acrescido da incerteza de medição mudaria todo ensaio de Capacidade Obtida.

4.2.1.

Correção da Capacidade no 4º ciclo do Tratamento Prévio - bateria A

De acordo com material obtido de forma não oficial, a temperatura de operação da bateria é de 27°C e a temperatura média do 4º ciclo do Tratamento Prévio foi de 21,78°C. A correção da capacidade foi obtida da seguinte forma:

Temperatura de operação da bateria = 27°C

Temperatura calculada do banho termostatizado = (21,78 ± 0,68)°C

Limite superior da temperatura do banho termostatizado = 22,46°C

Limite inferior da temperatura do banho termostatizado = 21,10°C

Capacidade calculada no ensaio = (88,93 ± 2,63) Ah

$$\text{Correção da temperatura} = \frac{(27 - 22,46) + ((27 - 21,10))}{2} = 5,22^\circ C$$

Para cada grau Celsius de variação da temperatura da bateria, a capacidade (88,9Ah) varia na ordem de 1%, logo, 4,6Ah de variação na capacidade.

A correção combinada neste ensaio devido à variação da temperatura do banho termostatizado apresenta o valor de 4,64Ah e a incerteza expandida é igual a 2,6Ah. O resultado final seria: **(88,93 +4,64) ± 2,63 = (93,6 ± 2,6) Ah**.

Tabela 38-Resultados dos ensaios “Tratamento Prévio” na Bateria A, sem redução da frequência de aquisição.

BATERIA A (sem redução da frequência de aquisição)													
ENSAIO		TRATAMENTO PRÉVIO I			TRATAMENTO PRÉVIO II			TRATAMENTO PRÉVIO III			TRATAMENTO PRÉVIO IV		
		DESC.	CCC	CTC	DESC	CCC	CTC	DESC.	CCC	CTC	DESC.	CCC	CTC
Grandeza													
Resistência PT100	$x_M(\Omega)$	108,41	108,67	108,39	108,42	108,57	108,55	108,41	108,68	108,78	108,52	109,99	109,96
	$\sigma(\Omega)$	0,18	0,18	0,18	0,13	0,18	0,18	0,16	0,15	0,16	0,13	0,03	0,03
	$u(\text{UN})$	1069	3635	2708	1192	4362	2893	1119	4018	5787	1059	3975	2857
Tensão Referência	$x_M(\text{V})$	0,98	1,05	0,06	0,87	0,87	0,05	0,87	0,88	0,03	0,89	0,87	0,05
	$\sigma(\text{V})$	0,004	0,04	0,06	0,01	0,004	0,04	0,004	0,002	0,04	0,01	0,01	0,05
	$u(\text{UN})$	1069	3635	2708	1192	4362	2893	1119	4018	5787	1059	3975	2857
Tensão Bateria	$x_M(\text{V})$	11,89	12,90	14,43	12,01	12,94	14,41	12,06	12,98	14,39	12,04	12,98	14,41
	$\sigma(\text{V})$	0,40	0,63	0,06	0,48	0,64	0,02	0,51	0,63	0,03	0,47	0,62	0,02
	$u(\text{UN})$	1072	3635	2708	1192	4362	2893	1119	4018	5787	1059	3975	2857
Resistência Referência	$x_M(\Omega)$	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	$\sigma(\Omega)$	8E-04	0,001	8E-04	0,002	0,002	5E-04	1E-03	9E-04	9E-04	0,001	8E-04	7E-04
	$u(\text{UN})$	82	82	82	156	213	84	76	70	80	78	75	77
Corrente (A) Carga / Descarga		(5,64 ± 0,10)	(6,04 ± 0,48)		(4,97 ± 0,20)	(5,00 ± 0,12)		(4,97 ± 0,10)	(4,98 ± 0,09)		(5,03 ± 0,11)	(4,97 ± 0,12)	
Capacidade Obtida (Ah)		(100,6 ± 2,7)			(98,8 ± 4,6)			(92,8 ± 2,6)			(88,9 ± 2,6)		
Tempo (h) Carga/ Descarga		17,83	60,6	45,15	19,88	72,72	48,23	18,67	66,98	96,47	17,67	66,27	47,63
Temperatura (°C) do Banho		(21,5 ±0,9)	(22,2 ±0,9)	(21,5 ±0,91)	(21,5 ±0,7)	(21,9 ±0,9)	(21,9 ±0,9)	(21,5 ±0,8)	(22,2 ±0,8)	(22,4 ±0,8)	(21,8 ±0,7)	(22,5 ±0,2)	(25,5 ±0,1)

Tabela 39-Resultados dos ensaios “Tratamento Prévio” na Bateria A, com redução da frequência de aquisição.

BATERIA A (com redução da frequência de aquisição)													
ENSAIO	TRATAMENTO PRÉVIO I			TRATAMENTO PRÉVIO II			TRATAMENTO PRÉVIO III			TRATAMENTO PRÉVIO IV			
	DESC.	CCC	CTC										
Grandeza													
Resistência PT100	$x_M(\Omega)$	107,17	107,43	107,15	107,18	107,33	107,31	107,16	107,44	107,53	107,28	107,73	108,70
	$\sigma(\Omega)$	0,17	0,18	0,18	0,13	0,18	0,18	0,16	0,15	0,16	0,13	0,03	0,03
	$v(\text{UN})$	267	908	677	298	1090	723	279	1004	1446	264	993	264
Tensão Referência	$x_M(\text{V})$	0,97	1,04	0,06	0,86	0,87	0,05	0,86	0,87	0,03	0,88	0,86	0,05
	$\sigma(\text{V})$	0,004	0,02	0,06	0,01	0,004	0,04	0,004	0,002	0,04	0,007	0,007	0,04
	$v(\text{UN})$	267	908	677	298	1090	723	279	1004	1446	264	993	264
Tensão Bateria	$x_M(\text{V})$	11,75	12,75	14,43	11,88	12,79	14,24	11,92	12,83	14,22	11,89	12,83	14,24
	$\sigma(\text{V})$	0,40	0,63	0,06	0,48	0,63	0,02	0,50	0,62	0,04	0,46	0,61	0,02
	$v(\text{UN})$	268	908	677	298	1090	723	279	1004	1446	1059	993	264
Resistência Referência	$x_M(\Omega)$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
	$\sigma(\Omega)$	4E-04	4E-04	4E-04	0,002	0,001	3E-04	9E-04	8E-04	9E-04	6E-04	6E-04	5E-04
	$v(\text{UN})$	20	20	20	39	53	21	19	17	20	19	18	19
Corrente (A) Carga/ Descarga	(5,58 \pm 0,09)	(5,97 \pm 0,26)		(4,91 \pm 0,20)	(4,94 \pm 0,11)		(4,91 \pm 0,10)	(4,92 \pm 0,08)		(4,98 \pm 0,11)	(4,91 \pm 0,11)		
Capacidade Obtida (Ah)	(99,5 \pm 2,6)			(97,6 \pm 4,6)			(91,7 \pm 2,6)			(87,9 \pm 2,6)			
Tempo (h) Carga/ Descarga	17,83	60,6	45,15	19,88	72,72	48,23	18,67	66,98	96,47	17,67	66,27	47,63	
Temperatura (°C) do Banho	(21,5 \pm 0,9)	(22,1 \pm 0,9)	(21,2 \pm 0,9)	(21,5 \pm 0,7)	(21,9 \pm 0,9)	(21,9 \pm 0,9)	(21,5 \pm 0,8)	(22,2 \pm 0,9)	(22,4 \pm 0,8)	(21,8 \pm 0,7)	(22,5 \pm 0,2)	(25,5 \pm 0,1)	

4.3.

Resultados obtidos nos ensaios de Tratamento Prévio – Bateria B.

Nas Tabelas 40 e 41 estão registrados os resultados obtidos no ensaio Tratamento Prévio da bateria B, sem e com redução da frequência de aquisição, respectivamente. Todos os dados foram calculados com o auxílio do programa MATLAB e das equações constantes nos capítulos 2 e 3.

Para o cálculo de temperatura utilizou-se a eq. (28), para o cálculo da capacidade a eq. (31) e para o cálculo de corrente de descarga a eq.(24).

Os procedimentos aos quais foi submetida a bateria B especificava uma temperatura de ensaio, no Tratamento Prévio, de 25°C e que coincidia com a temperatura de operação indicada pelo fabricante.

Ao se corrigir a capacidade da bateria A no 4º ciclo do Tratamento Prévio, devido ao fato da temperatura de operação ser diferente da temperatura média do ensaio, observa-se uma variação mínima.

Tabela 40-Resultados do ensaio “Tratamento Prévio” na Bateria B, sem redução da frequência de aquisição.

BATERIA B (sem redução da frequência de aquisição)													
ENSAIO		TRATAMENTO PRÉVIO I			TRATAMENTO PRÉVIO II			TRATAMENTO PRÉVIO III			TRATAMENTO PRÉVIO IV		
		DESC.	CCC	CTC	DESC.	CCC	CTC	DESC.	CCC	CTC	DESC.	CCC	CTC
Grandeza													
Resistência PT100	$x_M(\Omega)$	109,96	110,02	110,01	110,01	110,11	110,06	110,00	110,08	110,03	110,01	110,06	110,02
	$\sigma(\Omega)$	0,05	0,02	0,08	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02
	$v(\text{UN})$	167	176	289	188	169	286	176	150	287	182	151	504
Tensão Referência	$x_M(\text{V})$	0,95	0,2	0,03	0,93	0,20	0,02	0,92	0,19	0,02	0,87	0,18	0,02
	$\sigma(\text{V})$	0,01	3E-04	0,03	0,004	3E-04	0,03	0,003	3E-04	0,03	0,002	7E-04	0,02
	$v(\text{UN})$	167	176	289	188	169	286	176	150	287	182	151	504
Tensão Bateria	$x_M(\text{V})$	11,75	12,90	14,42	11,91	12,97	14,43	11,95	13,03	14,48	11,96	13,03	14,41
	$\sigma(\text{V})$	0,41	0,59	0,02	0,43	0,60	0,06	0,47	0,57	0,09	0,49	0,57	0,02
	$v(\text{UN})$	170	302	289	188	169	286	176	150	287	182	151	504
Resistência Referência	$x_M(\Omega)$	0,18	0,04	0,04	0,18	0,04	0,04	0,18	0,04	0,04	0,17	0,04	0,04
	$\sigma(\Omega)$	7E-04	4E-04	9E-04	0,003	7E-04	7E-04	7E-03	5E-04	5E-04	8E-04	4E-04	5E-04
	$v(\text{UN})$	202	20	454	649	1323	1502	193	186	186	636	157	329
Corrente (A) Carga/ Descarga		(5,26 ± 0,10)	(5,26 ± 0,36)		(5,27 ± 0,19)	(5,29 ± 0,39)		(5,26 ± 0,09)	(5,33 ± 0,36)		(4,99 ± 0,09)	(4,96 ± 0,33)	
Capacidade Obtida (Ah)		(73,7 ± 1,7)			(83,0 ± 3,1)			(77,6 ± 1,5)			(76,2 ± 1,5)		
Tempo (h) Carga/ Descarga		14,00	14,75	24,17	15,75	14,17	23,92	14,75	24,00	96,47	15,25	12,67	42,08
Temperatura (°C) do Banho		(25,4 ± 0,3)	(25,6 ± 0,1)	(25,6 ± 0,4)	(25,6 ± 0,2)	(25,8 ± 0,2)	(21,6 ± 0,1)	(25,5 ± 0,2)	(25,6 ± 0,2)	(22,4 ± 0,8)	(25,6 ± 0,2)	(25,7 ± 0,1)	(25,6 ± 0,1)

Tabela 41-Resultados do ensaio “Tratamento Prévio” na Bateria B, com redução da frequência de aquisição.

BATERIA B (com redução da frequência de aquisição)													
ENSAIO		TRATAMENTO PRÉVIO I			TRATAMENTO PRÉVIO II			TRATAMENTO PRÉVIO III			TRATAMENTO PRÉVIO IV		
		DESC.	CCC	CTC	DESC.		CTC	DESC.	CCC	CTC	DESC.	CCC	CTC
Grandeza													
Resistência PT100	$x_M(\Omega)$	108,70	108,76	108,75	108,75	108,85	110,06	110,00	110,08	110,03	110,01	110,06	110,02
	$\sigma(\Omega)$	0,05	0,02	0,08	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02
	$v(\text{UN})$	41	44	72	47	42	286	176	150	287	182	151	504
Tensão Referência	$x_M(\text{V})$	0,94	0,19	0,03	0,92	0,20	0,02	0,92	0,19	0,02	0,87	0,18	0,02
	$\sigma(\text{V})$	0,01	3E-04	0,03	0,003	3E-04	0,03	0,003	3E-04	0,03	0,002	7E-04	0,02
	$v(\text{UN})$	41	44	72	47	42	286	176	150	287	182	151	504
Tensão Bateria	$x_M(\text{V})$	11,61	12,76	14,26	11,77	12,83	14,43	11,95	13,03	14,48	11,96	13,03	14,41
	$\sigma(\text{V})$	0,41	0,60	0,02	0,45	0,63	0,06	0,47	0,57	0,09	0,49	0,57	0,02
	$v(\text{UN})$	42	44	72	47	42	286	176	150	287	182	151	504
Resistência Referência	$x_M(\Omega)$	0,18	0,04	0,04	0,17	0,04	0,04	0,18	0,04	0,04	0,17	0,04	0,04
	$\sigma(\Omega)$	6E-04	4E-04	9E-04	0,003	7E-04	7E-04	7E-03	5E-04	5E-04	8E-04	4E-04	5E-04
	$v(\text{UN})$	50	75	113	162	330	1502	193	186	186	636	157	329
Corrente (A) Carga / Descarga		(5,20 ± 0,10)	(5,20 ± 0,35)		(5,21 ± 0,19)	(5,23 ± 0,39)		(5,26 ± 0,09)	(5,33 ± 0,36)		(4,99 ± 0,09)	(4,96 ± 0,33)	
Capacidade Obtida (Ah)		(72,8 ± 1,6)			(82,1 ± 3,1)			(77,6 ± 1,5)			(76,2 ± 1,5)		
Tempo (h) Carga/ Descarga		14,00	14,75	24,17	15,75	14,17	23,92	14,75	24,00	96,47	15,25	12,67	42,08
Temperatura do Banho (°C)		(25,4 ± 0,3)	(25,6 ± 0,1)	(25,6 ± 0,4)	(25,67 ± 0,2)	(25,8 ± 0,2)	(21,6 ± 0,1)	(25,5 ± 0,2)	(25,6 ± 0,2)	(22,4 ± 0,8)	(25,6 ± 0,2)	(25,7 ± 0,1)	(25,6 ± 0,1)

4.3.1.

Correção da Capacidade no 4º ciclo do Tratamento Prévio – bateria B.

De acordo com material obtido de forma não oficial, a temperatura de operação da bateria é de 25°C e a temperatura média do 4º ciclo do Tratamento Prévio foi de 25,57°C. A correção da capacidade foi obtida da seguinte forma:

Temperatura de operação da bateria = 25°C

Temperatura calculada do banho termostatizado = (25,57 ± 0,22)°C

Limite superior da temperatura do banho termostatizado = 25,79°C

Limite inferior da temperatura do banho termostatizado = 25,35°C

Capacidade calculada no ensaio = (76,17 ± 1,52) Ah

$$\text{Correção da temperatura} = \frac{(25 \cdot 25,79) + (25 \cdot 25,35)}{2} = -0,57^\circ\text{C}$$

Para cada grau Celsius de variação da temperatura da bateria, a capacidade (76,17Ah) varia na ordem de 1%, logo, -0,43Ah de variação na capacidade.

A correção combinada neste ensaio devido à variação da temperatura do banho termostatizado apresenta o valor de -0,43Ah e a incerteza expandida é igual a 1,52Ah. A medição final seria: $(76,17 - 0,43) \pm 1,52 = (75,7 \pm 1,5) \text{ Ah}$.

4.4.

Ensaio de durabilidade.

Segundo o Manual de engenharia do CRESESB/CEPEL, o fim de vida das baterias chumbo-ácido é geralmente definido como o momento em que a bateria atinge o estado de carga de 80% de sua capacidade nominal. E esta perda de 20% está relacionada com a idade e a ciclagem da bateria.

Uma bateria destinada a um Sistema Fotovoltaico de Energia, submete-se a dois ciclos básicos de carga e descarga:

- Ciclos rasos diários, e,
- Ciclos profundos por vários dias ou semanas.

Este ensaio é uma simulação da utilização da bateria em um Sistema Fotovoltaico de Energia no qual há um grande número de ciclos de carga e descarga. O banho termostatizado, com temperatura elevada, é usado para acelerar o processo de desgaste da amostra.

Quando o consumo diário é excessivo e o carregamento não é suficiente para repor o que foi utilizado pelo consumidor, o estado de carga é reduzido diariamente e, neste caso, temos o que se denomina de ciclo profundo. Na primeira oportunidade de melhora de insolação, acontece um carregamento extra, aumentando o estado de carga. Uma descarga diária típica pode estar na faixa de 2% a 20% da capacidade da bateria [2].

Segundo Battery University [23], a vida útil de uma bateria chumbo-ácido está relacionada diretamente à profundidade da descarga e à temperatura. O número típico de ciclos de carga e descarga em 25°C (77°F), com respeito à profundidade da descarga é:

- 150 ciclos - 200 ciclos com profundidade de 100% da descarga (descarga completa).
- 400 ciclos - 500 ciclos com profundidade de 50% da descarga (descarga parcial).

- Acima de 1000 ciclos com profundidade de 30% da descarga (descarga rasa).

A cada 10°C de aumento na temperatura, a vida útil da bateria reduz-se pela metade, para condições normais de operação, segundo DUNLOP[20].

4.4.1.

Resultados do ensaio de durabilidade da bateria B.

4.4.1.1.

Resultados do pré-ensaio da durabilidade.

A bateria foi inicialmente carregada em um banho termostático a 25°C, com corrente I_{20} . Depois de carregada plenamente foi condicionada, então, a uma temperatura de $(40 \pm 3)^\circ\text{C}$ por um período mínimo de 16 horas. A seguir, foi submetida a um processo de descarga, nesta temperatura, com corrente de descarga de I_{10} . Os resultados encontram-se descritos na Tabela 42.

Tabela 42-Resultados do ensaio de durabilidade (pré-ensaio) sem redução da frequência de aquisição – bateria B

BATERIA B PRÉ-ENSAIO							
ENSAIO		SEM REDUÇÃO DA FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO			COM REDUÇÃO DA FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO		
		CCC	CTC	DESCARGA		CTC	
Grandeza							
Resistência PT100	$x_M(\Omega)$	109,88	109,84	115,64	108,62	108,58	114,31
	$\sigma(\Omega)$	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
	$v(\text{UN})$	188	290	90	47	72	22
Tensão Referência	$x_M(\text{V})$	0,19	0,03	1,64	0,19	0,03	1,62
	$\sigma(\text{V})$	6E-04	0,03	0,03	6E-04	0,03	0,01
	$v(\text{UN})$	188	290	90	47	72	22
Tensão Bateria	$x_M(\text{V})$	12,96	14,40	12,05	12,96	14,23	11,90
	$\sigma(\text{V})$	0,63	0,05	0,30	0,63	0,1	0,31
	$v(\text{UN})$	188	290	90	47	72	22
Resistência Referência	$x_M(\Omega)$	0,04	0,04	0,18	0,04	0,04	0,17
	$\sigma(\Omega)$	3E-04	3E-04	6E-04	3E-04	3E-04	5E-03
	$v(\text{UN})$	75	218	126	54	54	31
Corrente (A) Carga / Descarga		(5,09 \pm 0,33)		(9,40 \pm 0,32)	(5,09 \pm 0,33)		(9,29 \pm 0,21)
Capacidade Obtida (Ah)				(71,3 \pm 2,4)			(70,5 \pm 1,6)
Tempo (h) Carga/ Descarga		15,75		7,58	15,17		7,58
Temperatura (°C) do Banho		(25,2 \pm 0,2)	(25,1 \pm 0,2)	(39,9 \pm 0,1)	(25,2 \pm 0,2)	(25,1 \pm 0,2)	(39,9 \pm 0,1)

4.4.1.2.

Ensaio de durabilidade – Fase A.

O ensaio de durabilidade – Fase A (ciclagem pouco profunda em baixo estado de carga) é um ensaio que visa verificar a durabilidade da bateria após 50 ciclos de 3 horas cada. Os resultados, de 10 ciclos, encontram-se nas tabelas 43/44 e 45/46, sem e com redução da frequência de aquisição, respectivamente.

Tabela 43-Resultados do ensaio de durabilidade (Fase A) sem redução da frequência de aquisição – bateria B

BATERIA B (sem redução da frequência de aquisição) DURABILIDADE											
FASE A											
ENSAIO		1º CICLO		2º CICLO		3º CICLO		4º CICLO		5º CICLO	
		CCC	DESC.								
Grandeza											
Resistência PT100 (Ω)	\bar{x}_M	115,68	115,65	115,66	115,65	115,69	115,68	115,63	115,66	115,65	115,65
	σ	0,11	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03
	v	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Tensão Referência (V)	\bar{x}_M	0,36	1,64	0,36	1,64	0,36	1,64	0,36	1,64	0,36	1,64
	σ	4,5E-04	0,01	6,4E-04	0,01	6,0E-04	0,01	0,002	0,004	2,1E-04	0,003
	v	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Tensão Bateria (V)	\bar{x}_M	12,67	11,90	12,73	11,91	12,79	11,93	12,84	11,93	12,92	11,92
	σ	0,22	0,27	0,24	0,28	0,26	0,30	0,28	0,31	0,30	0,31
	v	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Resistência Referência (Ω)	\bar{x}_M	0,04	0,18	0,04	0,18	0,04	0,18	0,04	0,18	0,04	0,18
	σ	3,3E-04	0,001	3,3E-04	0,001	3,3E-04	0,001	3,3E-04	0,001	3,6E-04	4,7E-04
	v	268	279	268	279	268	279	268	279	140	205
Corrente (A) Carga/Descarga		(9,78 \pm 0,64)	(9,35 \pm 0,17)	(9,79 \pm 0,65)	(9,40 \pm 0,18)	(9,77 \pm 0,64)	(9,36 \pm 0,17)	(9,79 \pm 0,65)	(9,37 \pm 0,17)	(9,72 \pm 0,64)	(9,39 \pm 0,14)
Capacidade Obtida (Ah)			(29,0 \pm 0,6)		(29,0 \pm 0,7)		(29,0 \pm 0,7)		(29,0 \pm 0,6)		(29,0 \pm 0,5)
Tempo (h) Carga/Descarga		3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08
Temperatura(°C) do Banho		(40,0 \pm 0,2)	(40,0 \pm 0,1)								

Tabela 44-Resultados do ensaio de durabilidade (Fase A) sem redução da frequência de aquisição – bateria B (continuação).

BATERIA B (sem redução da frequência de aquisição) DURABILIDADE											
FASE A											
ENSAIO		6º CICLO		7º CICLO		8º CICLO		9º CICLO		10º CICLO	
		CCC	DESC.								
Grandeza											
Resistência PT100 (Ω)	\bar{x}_M	115,57	115,72	115,64	115,65	115,70	115,64	115,65	115,63	115,55	115,67
	σ	0,10	0,14	0,06	0,04	0,15	0,03	0,15	0,03	0,03	0,04
	v	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Tensão Referência (V)	\bar{x}_M	0,36	1,64	0,36	1,64	0,36	1,64	0,36	1,65	0,36	1,64
	σ	3,5E-04	0,01	2,4E-04	0,01	5,9E-04	0,01	0,002	0,01	7,2E-04	0,01
	v	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Tensão Bateria (V)	\bar{x}_M	12,99	11,89	12,81	11,88	13,06	11,91	13,25	11,82	13,19	11,82
	σ	0,37	0,34	0,47	0,38	0,50	0,38	0,47	0,40	0,59	0,42
	v	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Resistência Referência (Ω)	\bar{x}_M	0,04	0,18	0,04	0,18	0,04	0,18	0,04	0,18	0,04	0,18
	σ	3,6E-04	4,7E-04	2,9E-04	4,7E-04	3,1E-04	7,0E-04	3,5E-04	0,002	3,5E-04	0,002
	v	140	205	97	205	58	178	145	253	145	253
Corrente (A) Carga/Descarga		(9,71 $\pm 0,65$)	(9,37 $\pm 0,15$)	(9,68 $\pm 0,63$)	(9,37 $\pm 0,20$)	(9,71 $\pm 0,63$)	(9,39 $\pm 0,17$)	(9,65 $\pm 0,64$)	(9,36 $\pm 0,24$)	(9,67 $\pm 0,63$)	(9,35 $\pm 0,17$)
Capacidade Obtida (Ah)			(29,0 $\pm 0,7$)		(29,0 $\pm 0,7$)		(29,0 $\pm 0,6$)		(29,0 $\pm 0,8$)		(29,0 $\pm 0,8$)
Tempo (h) Carga/Descarga		3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08
Temperatura(°C) do Banho		(40,0 $\pm 0,2$)	(40,0 $\pm 0,3$)	(40,0 $\pm 0,1$)	(40,0 $\pm 0,1$)	(40,0 $\pm 0,3$)	(40,0 $\pm 0,1$)	(40,0 $\pm 0,3$)	(40,0 $\pm 0,1$)	(40,0 $\pm 0,1$)	(40,00 $\pm 0,1$)

Tabela 45-Resultados do ensaio de durabilidade (Fase A) com redução da frequência de aquisição – bateria B

BATERIA B (com redução da frequência de aquisição) DURABILIDADE											
FASE A											
ENSAIO		1º CICLO		2º CICLO		3º CICLO		4º CICLO		5º CICLO	
		CCC	DESC.								
Grandeza											
Resistência PT100 (Ω)	\bar{x}_M	114,35	114,32	114,34	114,33	114,36	114,35	114,31	114,32	114,33	114,35
	σ	0,10	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,03	0,03	0,07
	ν	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Tensão Referência (V)	\bar{x}_M	0,35	1,62	0,35	1,62	0,35	1,63	0,36	1,63	0,35	1,64
	σ	4,5E-04	0,01	6,4E-04	0,01	6,0E-04	0,01	0,002	0,004	2,5E-04	0,005
	ν	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Tensão Bateria (V)	\bar{x}_M	12,52	11,76	12,59	11,77	12,65	11,79	12,70	11,80	12,78	11,79
	σ	0,23	0,27	0,24	0,29	0,26	0,30	0,29	0,32	0,30	0,30
	ν	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Resistência Referência (Ω)	\bar{x}_M	0,04	0,17	0,04	0,17	0,04	0,17	0,04	0,17	0,036	0,17
	σ	2,8E-04	0,001	2,8E-04	0,001	2,83E-04	0,001	2,8E-04	0,001	3,0E-04	0,001
	ν	134	139	134	139	134	139	134	139	139	139
Corrente (A) Carga/Descarga		(9,67 $\pm 0,64$)	(9,24 $\pm 0,17$)	(9,67 $\pm 0,64$)	(9,25 $\pm 0,17$)	(9,66 $\pm 0,64$)	(9,26 $\pm 0,17$)	(9,68 $\pm 0,65$)	(9,26 $\pm 0,17$)	(9,60 $\pm 0,63$)	(9,289 $\pm 0,14$)
Capacidade Obtida (Ah)			(29,0 $\pm 0,55$)		(29,0 $\pm 0,64$)		(29,0 $\pm 0,67$)		(29,0 $\pm 0,58$)		(29,0 $\pm 0,47$)
Tempo (h) Carga/Descarga		3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08
Temperatura(°C) do Banho		(40,0 $\pm 0,2$)	(40,0 $\pm 0,1$)								

Tabela 46-Resultados do ensaio de durabilidade (Fase A) com redução da frequência de aquisição – bateria B (continuação).

BATERIA B (com redução da frequência de aquisição) DURABILIDADE											
FASE A											
ENSAIO		6º CICLO		7º CICLO		8º CICLO		9º CICLO		CCC	DESC.
		CCC	DESC.	CCC	DESC.	CCC	DESC.	CCC	DESC.		
Grandeza											
Resistência PT100 (Ω)	\bar{x}_M	114,25	114,39	114,32	114,33	114,37	114,32	114,32	114,30	114,23	114,34
	σ	0,10	0,13	0,06	0,04	0,15	0,03	0,15	0,03	0,03	0,04
	v	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Tensão Referência (V)	\bar{x}_M	0,35	1,63	0,36	1,62	0,35	1,63	0,35	1,63	0,35	1,63
	σ	3,5E-04	0,01	2,4E-04	0,01	5,9E-04	0,01	0,003	0,01	8,2E-04	0,01
	v	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Tensão Bateria (V)	\bar{x}_M	12,99	11,76	12,81	11,75	12,91	11,77	13,09	11,68	13,04	11,68
	σ	0,37	0,35	0,47	0,38	0,51	0,39	0,48	0,41	0,61	0,44
	v	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Resistência Referência (Ω)	\bar{x}_M	0,04	0,17	0,04	0,17	0,04	0,17	0,04	0,17	0,04	0,17
	σ	3,6E-04	4,2E-04	2,1E-04	4,2E-04	2,5E-04	6,6E-04	2,9E-04	0,002	2,9E-04	0,002
	v	140	102	48	102	58	89	72	126	72	126
Corrente (A) Carga/Descarga		(9,60 \pm 0,63)	(9,27 \pm 0,17)	(9,57 \pm 0,62)	(9,26 \pm 0,17)	(9,60 \pm 0,63)	(9,28 \pm 0,17)	(9,54 \pm 0,64)	(9,25 \pm 0,17)	(9,56 \pm 0,63)	(9,25 \pm 0,17)
Capacidade Obtida (Ah)			(29,0 \pm 0,7)		(29,0 \pm 0,8)		(29,0 \pm 0,9)		(29,0 \pm 0,7)		(29,0 \pm 0,9)
Tempo (h) Carga/Descarga		3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08
Temperatura(°C) do Banho		(39,8 \pm 0,2)	(40,1 \pm 0,7)	(40,0 \pm 0,2)	(40,0 \pm 0,3)	(40,0 \pm 0,3)	(40,0 \pm 0,3)	(40,0 \pm 0,3)	(39,9 \pm 0,2)	(39,7 \pm 0,1)	(40,0 \pm 0,3)

4.2.1.3.

Análise do ensaio de Durabilidade - Fase A.

O ensaio de durabilidade tem por objetivo simular desgaste da bateria em campo. Para isto elevou-se a temperatura do banho termostaticado para 40°C. Este ensaio ficou incompleto porque a bateria tinha sido reprovada no ensaio de Capacidade Obtida e, também, por falta de tempo hábil, já que outras baterias estavam aguardando os ensaios.

A bateria, após 10 ciclos, apresentou uma estabilidade em sua capacidade, qualquer avaliação somente com estes ciclos seria precipitada, já que pelo procedimento o mínimo seriam 50 ciclos.

4.2.1.4.

Ensaio de Durabilidade - Fase B.

O ensaio de durabilidade, a época da defesa da dissertação, não foi realizado.