

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Desenvolvimento de um laminado com propriedades eletroquímicas e capacidade de armazenamento de energia.

Dissertação de Mestrado

de

Emanuel Filipe da Silva Sampaio

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A.



Orientador na FEUP: Professor Catedrático Adélio Mendes

Co-Orientador na FEUP: Doutor André Monteiro

Orientador na Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A.: Doutora Cláudia Costa



Departamento de Engenharia Química

Outubro de 2018

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A., pela oportunidade de realizar esta dissertação, e pela confiança que depositaram em mim para a realização da mesma.

De seguida quero agradecer ao orientador académico, o professor Adélio Mendes, pela orientação científica, apoio, aprendizagens, conselhos e disponibilidade ao longo deste projeto. Gostava também de lhe agradecer por toda a paciência que teve ao longo desta dissertação.

À Doutora Cláudia Costa, orientadora por parte da SIR, um muito obrigado pela confiança, orientação, apoio no decorrer desta dissertação. Também gostaria de agradecer à equipa de I&D da SIR, à Engenheira Ana Vinhas e ao Engenheiro Jorge Teixeira, pelo apoio, conselhos, ajuda e pela formação durante a 1ª semana de estágio que serviram de muito para a realização deste trabalho.

Ao Doutor André Monteiro, meu co-orientador académico, gostaria de agradecer pela disponibilidade, apoio e conselhos científicos fornecidos ao longo da dissertação.

A toda a equipa do laboratório E202 e E101c, Cátia Azenha, Cecília Mateos, Nuno Delgado, Jorge, Frederico Relvas, Cátia Azenha, pela integração carinhosa, pelos conselhos e ajuda a nível laboratorial e por todos os momentos de boa disposição.

Um especial agradecimento ao Tiago Lagarteira pelos ensinamentos, pela disponibilidade e pelo apoio e ao Carlos Almeida por todo o acompanhamento, conselhos, disponibilidade, apoio, conhecimento científico, entreaajuda e por todos os momentos de boa disposição vividos ao longo destes 8 meses de dissertação. Muito obrigado, Carlos.

A todos os colaboradores na UPTEC - Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto, pela ótima receptividade, por todo o apoio e colaboração.

À Beatriz Nogueira pelo companheirismo e pelos momentos de boa disposição ao longo da tese.

Aos meus pais e à família do meu irmão gostaria de agradecer pelo apoio incondicional ao longo destes 5 anos. A vocês agradeço a educação que me deram e também agradeço por todos os sacrifícios que passaram para eu conseguir estudar na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obrigado também pela confiança que depositam em mim, bem como todo o carinho e força que me deram para concluir esta etapa da minha vida.

Por último gostaria de agradecer a todos aqueles que viveram esta aventura de 5 anos ao meu lado. A vocês um muito obrigado por tudo. Pelas conversas, pelas sessões de estudo, pelas saídas, por tudo que só nós sabemos o que vivemos. Um muitíssimo obrigado aos Lixos, aos Bagaceiros, aos Fixolas e por último aos Dragões.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelos projetos POCI-01-0145-FEDER-006939 - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE e NORTE-01-0145-FEDER-000005 - LEPABE-2-ECO-INNOVATION, financiado pelo FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020) e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Resumo

A Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. (SIR) é um dos maiores fabricantes de termolaminados de alta pressão (HPL) e compactos do mundo. Apesar da vasta gama de aplicação dos HPL, o mercado atual impõe desempenhos cada vez mais exigentes, o que implica a melhoria dos produtos atuais ou o desenvolvimento de novas soluções. Assim, a SIR promove a inovação constante, procurando criar produtos novos, com características diferentes e inovadoras, para atender às necessidades do mercado. Os produtos comercializados pela SIR apresentam, geralmente, elevada resistência mecânica e impermeabilidade, e outras propriedades menos comuns como a resistência à chama, ao risco e a condições atmosféricas adversas.

Devido à grande variedade de aparelhos eletrônicos, considera-se uma grande vantagem competitiva a existência de dispositivos que possuam a capacidade de armazenar energia facilmente convertível em eletricidade. Desta forma, a SIR propôs o desenvolvimento de um HPL com capacidade de armazenamento de energia através da incorporação de baterias secundárias.

Os resultados obtidos são promissores, tendo sido possível fazer a incorporação de uma bateria de lítio num HPL. A bateria incorporada reteve parcialmente a capacidade de carga/descarga.

Palavras-chave:

HPL, bateria de bolsa, Ni-Cd, Ni-MH, incorporação de uma bateria no HPL

Abstract

Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. (SIR) is one of the major producers of high-pressure laminates (HPL) and compacts in the world. Despite the different applications of HPL, in today's marketplace, the HPL must have very efficient performances, which means the enhancement of the current products or the development of innovative solutions. Therefore, SIR promotes constant innovation, looking to create new products, with different and innovative characteristics to fulfil the market's requirements. SIR's commercialized products often show high mechanical resistance, impermeability, but also show, less frequently, flame and scratch resistance and to hazardous atmospheric conditions.

Due to the wide variety of electronical equipment present in the marketplace, it is considered a competitive advantage the existence of devices that are able to store energy that is easily convertible in electricity. Consequently, SIR proposed the development of an HPL with the ability of storing energy through the incorporation of secondary batteries.

The results obtained are promising, since it was possible to obtain a lithium battery incorporated in an HPL. The secondary battery was able to retain, although only partially, the capacity of charging/discharging.

Keywords (theme):

HPL, pouch cell, Ni-Cd, Ni-MH, incorporation of a battery in HPL

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Emanuel Filipe da Silva Sampaio

01 de Outubro de 2018

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	1
1.3	Contributos do Trabalho	3
1.4	Organização da Tese	3
2	Contexto e Estado da Arte	4
2.1	Termolaminados de alta pressão (HPL)	4
2.2	Baterias	5
2.2.1	Constituição de uma bateria	5
2.2.2	Tipo de baterias	6
2.2.3	Funcionamento da bateria	6
2.2.4	Baterias Recarregáveis	7
2.3	Baterias Recarregáveis selecionadas	10
2.4	Bateria Ni-Cd.....	11
2.4.1	Carga	11
2.4.2	Descarga	12
2.4.3	Armazenamento	12
2.4.4	Ciclo de vida	12
2.5	Bateria Ni-MH	13
2.5.1	Eléctrodo negativo	13
2.5.2	Carga	14
2.5.3	Descarga	14
2.5.4	Armazenamento	15
2.5.5	Ciclo de vida	15
2.6	Bateria De íões de lítio.....	15
2.6.1	Carga	17
2.6.2	Descarga	17
2.6.3	Ciclo de vida	17

2.7	Incorporação de uma bateria num laminado	17
3	Materiais e Métodos	19
3.1	Métodos experimentais	20
3.1.1	Método experimental inicial	20
	Eléctrodo negativo - ânodo	20
	Eléctrodo positivo - cátodo	21
	Montagem da bateria	21
3.1.2	Método experimental utilizado	22
	Montagem da bateria	22
3.1.3	Prensagem do HPL com incorporação da bateria	23
4	Resultados e Discussão	25
4.1	Avaliação da estabilidade da bateria após descapsulação	25
4.2	Avaliação dos ciclos de carga e descarga das baterias	28
4.3	Estudo do coletor de corrente	34
4.4	Prensagem do HPL com incorporação das baterias montadas	35
4.5	Estudo da influência da Temperatura na bateria de bolsa	40
4.6	Prova de conceito obtida	41
5	Conclusões	44
6	Avaliação do trabalho realizado	45
6.1	Objetivos Realizados	45
6.2	Limitações e Trabalho Futuro	45
6.3	Apreciação Final	46
Anexo 1	Bateria Ni-Cd	49
Anexo 2	Bateria Ni-MH	50
Anexo 3	Bateria De iões de lítio	51

Notação e Glossário

<i>A</i>	Área	cm ²
<i>c</i>	Concentração	mol.dm ⁻³
<i>C</i>	Capacidade	mAh
<i>e</i>	Espessura	mm
<i>I</i>	Intensidade da corrente elétrica	A
<i>P</i>	Pressão	bar
<i>T</i>	Temperatura	°C
<i>t</i>	Tempo	s
<i>V</i>	Potencial elétrico	V

Lista de Abreviaturas

CLPS	<i>Contactless eletric power supply</i>
FTO	<i>Fluorine doped Tin Oxide</i>
HPL	<i>High Pressure Laminate</i>
I&D	Investigação e Desenvolvimento
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
Ni-Cd	Níquel-Cádmio
Ni-MH	Níquel-Hidreto Metálico
SIR	Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A.
UPTEC	Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

A presente dissertação, realizada em ambiente empresarial, descreve o desenvolvimento de um termolaminado de alta pressão (HPL - High Pressure Laminate) com capacidade de armazenamento de energia facilmente convertível em eletricidade.

A Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. (SIR) é uma empresa que está presente no mercado mundial de HPL e compactos. Apesar da já grande gama de aplicação dos HPL, como por exemplo o uso em no revestimento de paredes interiores e exteriores e em mobiliário, o mercado procura desempenhos cada vez mais exigentes, implicando a melhoria dos produtos atuais ou o desenvolvimento de novas soluções. Assim sendo, a SIR promove a inovação constante procurando criar novos produtos, com características diferentes e inovadoras, para responder às necessidades do mercado. Dito isto, não é incomum a existência de departamentos de I&D numa empresa que deseja crescer no mercado onde está inserido, pois a procura de produtos que apresentem características diferenciadoras e desejadas atraem a atenção dos potenciais clientes.

O objetivo principal deste projeto passa pelo desenvolvimento de um novo tipo de laminado de alta pressão que possui a capacidade de armazenamento de energia através da incorporação de baterias planas e recarregáveis na estrutura do HPL.

1.2 Apresentação da Empresa

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial na Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A..

A Sonae é uma multinacional portuguesa presente em 90 países de todos os continentes - figura 1.1.^[1]

Destaca-se pelos vários âmbitos de negócio que abrange nas áreas de retalho alimentar, saúde e bem-estar, serviços financeiros, tecnologia, desporto, centros comerciais e telecomunicações, possuindo algumas marcas reconhecidas como a SportZone, Continente, Worten, Mo, Zippy, Wells, entre outras.^[2]

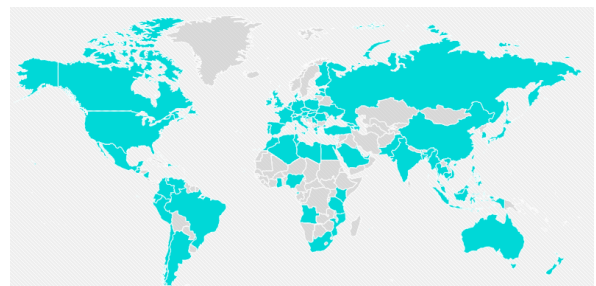


Figura 1.1 - Mercado da Sonae.^[1]

Apesar desta diversificação de mercado, foi nas madeiras e seus derivados que esta se destacou inicialmente, com a Sonae Indústria, SGPS, S.A..

Fundada em 1959, na Maia, onde tem a sua sede, figura 1.2, a Sonae - Sociedade Nacional de Estratificados, SARL, foi criada com o objetivo de produzir termolaminados decorativos. Em 1971 começa o processo de diversificação da Sonae ao adquirir o controlo de uma unidade de produção de aglomerados de madeira, em Paredes. Após a instalação da primeira linha de revestimento melamínico em Portugal, inicia-se a produção de aglomerado revestido com papel melamínico e de componentes de imobiliário e decoração. Em 1975, a Sonae inicia atividade no setor da química industrial instalando uma unidade de produção de resinas fenólicas e melamínicas. No final de 1988 é constituída a *holding* do Grupo e o património industrial da unidade da Maia foi integrado passando a denominar-se Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A..



Figura 1.2 - Instalações da Sonae Indústria

Entre 1988 e 1990, a Sonae consolida a sua posição de líder no setor de aglomerados de madeira, com a aquisição de novas unidades fabris e inicia o seu processo de internacionalização, ao adquirir a *Spanboard*, na Irlanda do Norte. Em 1990, a Sonae era já o maior grupo não financeiro de capitais maioritariamente portugueses e no ano seguinte dá-se uma importante reorganização com a criação de distintas *sub-holdings*, surgindo, então, a Sonae Indústria, SGPS.

Em 1993, marco o início de uma nova fase de expansão e internacionalização dos negócios do Grupo Sonae Indústria, tornando-se um dos cinco maiores produtores europeus e líder do setor de painéis de madeira na Península Ibérica. Continua este processo de crescimento com a aquisição da Tafisa, expandindo as suas atividades para o Canadá, Brasil e África. Ao longo dos anos seguintes, a empresa atravessou um processo de expansão através da combinação de crescimento orgânico e aquisições, tendo-se afirmado, cada vez mais, como líder nos setores a que se dedica.

Já em 2016, a Sonae Indústria, conclui a parceria estratégica com a *Inversiones Arauco Internacional*, com sede no Chile, surgindo a Sonae Arauco, que passou a englobar todas as operações de painéis derivados de madeira, químicos e impregnação de papel.^[3]

A SIR tem como missão “a conceção, desenvolvimento, produção e comercialização de termolaminados” sendo o seu capital social detido na sua totalidade pela Sonae Indústria, SGPS, S.A.

1.3 Contributos do Trabalho

Na primeira semana de trabalho realizei um estágio de integração na SIR, onde aprendi o essencial acerca do processo de produção de HPL a nível industrial e a nível laboratorial, desde a impregnação de papel em laboratório, caracterização do papel impregnado, prensagem de laminados na prensa a nível laboratorial, caracterização dos laminados segundo a norma que me deu um conjunto de ferramentas necessárias para a realização da dissertação.

De seguida, efetuei um estudo sobre baterias recarregáveis para serem reconstruídas de modo a terem uma espessura reduzida para posterior incorporação nos laminados, com desenvolvimento de um novo método para montagem de baterias.

O projeto desenvolvido nesta dissertação é inovador, e pretende colocar no mercado um produto com características únicas, que o tornam muito atrativo. Todo o projeto foi desenvolvido por mim e é a continuação do trabalho realizado pelo Ricardo Alves no ano letivo 2016/2017 com o tema: Desenvolvimento de um laminado com propriedades eletroquímicas e capacidade de armazenamento de energia.

1.4 Organização da Tese

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos principais.

1. Introdução - breve apresentação do projeto realizado, indicando os objetivos propostos pelo mesmo. De seguida, apresentação da empresa e por último, faz os contributos dados para a realização do trabalho;
2. Contexto e Estado de Arte - enquadramento teórico essencial para a realização da dissertação e compreensão do tema;
3. Materiais e Métodos - apresentação de todos os materiais, equipamentos e metodologias experimentais necessárias para a concretização do principal objetivo da dissertação;
4. Resultados e Discussão - discussão dos resultados obtidos e explicação dos mesmos;
5. Conclusão - apresentação conclusões obtidas no final desta dissertação;
6. Avaliação do trabalho realizado - apreciação global do trabalho realizado e respetivas limitações e sugerem-se linhas de investigação para trabalho futuro.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 Termolaminados de alta pressão (HPL)

Os termolaminados de alta pressão consistem em camadas de papel impregnado com resinas termoendurecíveis que promovem a aderência entre as diferentes camadas aquando da sua prensagem a temperatura igual ou superior a 120 °C^[4] e pressão específica igual ou superior a 5 MPa^[5] promovendo assim, o fluxo e subsequente cura das resinas termoendurecíveis de modo a obter uma única estrutura laminada rígida com acabamento numa ou em ambas as faces. Este acabamento é feito com papel decorativo impregnado com resina melamínica, onde, no topo, é colocado um *overlay*, papel decorativo impregnado com resina melamínica, de modo a aumentar a resistência mecânica, dependendo da aplicação final pretendida.

Portanto, como se pode visualizar na figura 2.1, os HPL são constituídos por papel *kraft*, papel decorativo e por fim um *overlay*^[5], distinguindo-se dos compactos pela sua espessura que deve-se situar inferior dos 2 mm.

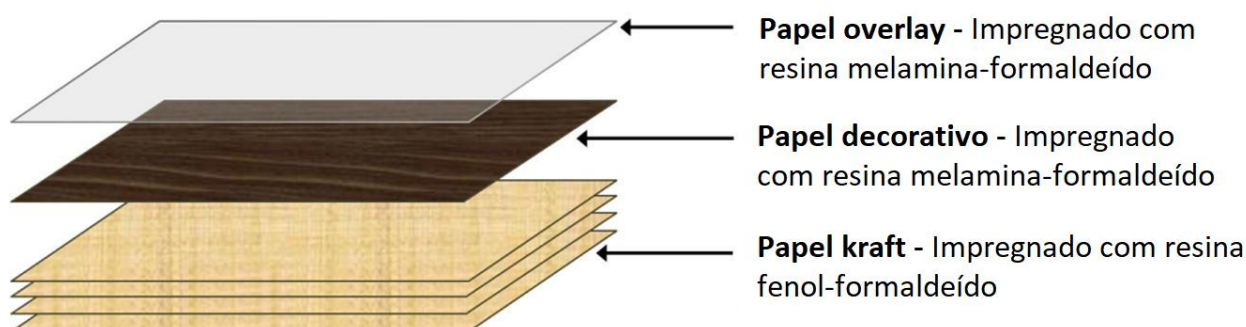


Figura 2.1 - Constituição de um HPL (adaptado de (Magina et al., 2016))

Um HPL é constituído por cerca de 70 % de papel e os 30 % restantes consistem em resina curada - resinas fenólicas para as camadas de papel *kraft* e resinas melamínicas para as camadas superficiais, papel decorativo e *overlay*.^[6] Os laminados são posteriormente ligados a substratos tais como MDF (painéis de fibras de densidade média) ou aglomerados de madeira, uma vez que oferecem uma base estável, durável, consistente e económica.^[7]

Os HPL podem ser aplicados em variadas superfícies, tais como móveis, bancadas, pavimentos ou superfícies de painéis de parede para edifícios quer horizontais ou verticais, de interior ou exterior, que requerem elevado desempenho físico, mecânico e

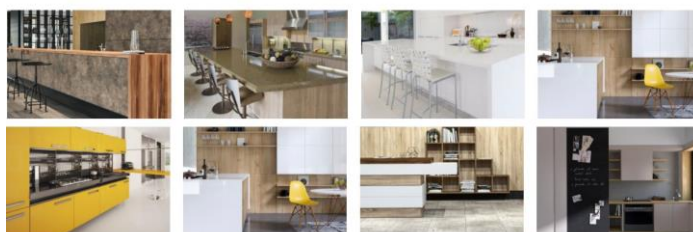


Figura 2.2 - Aplicações dos HPL^[8]

químico. A sua elevada aplicabilidade permite responder aos diferentes mercados, podendo também, serem introduzidas novas propriedades, tais como, antibacterianas, antifúngicas, anti mosquito, atribuição de propriedades de resistência ao fogo e à chama, anti impressão digital, entre outros, ou simplesmente aprimoramento de pormenores como brilho, opacidade e cor, figura 2.2.^[8]

Todos os laminados produzidos na SIR são avaliados segundo a norma “EN 438/2 - High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 2: Determination of properties”, analisando, através de testes, a sua resistência a várias agressões a que os HPL possam estar sujeitos, tais como humidade, temperatura, porosidade, entre outros.

2.2 Baterias

Uma bateria é um dispositivo que converte energia química, contida nos pares redox, em elétrica e vice-versa, no caso de baterias recarregáveis.

Ao longo da dissertação, o termo bateria (termo em inglês - *battery*) corresponde à unidade eletroquímica básica e uma bateria (termo em inglês - *stack*) consiste num empilhamento de uma ou mais células eletroquímicas, conectadas eletricamente em série ou em paralelo, ou ambos dependendo da tensão e capacidade desejadas.^[9]

2.2.1 Constituição de uma bateria

Uma bateria é constituída por 3 componentes principais, o ânodo, o cátodo e o eletrólito, figura 2.3.^[10] O ânodo liberta eletrões para o circuito externo uma vez que é oxidado durante a reação eletroquímica. Normalmente, os metais são utilizados como ânodos. O cátodo aceita os eletrões do circuito externo e é reduzido durante a reação eletroquímica. Habitualmente, os cátodos são constituídos por óxidos metálicos.^[9]

O cátodo e o ânodo devem apresentar as seguintes propriedades: estabilidade em contacto com o eletrólito, baixo custo, fácil fabrico e eficiência como agente oxidante e agente redutor, respetivamente.

O eletrólito, o condutor iónico, fornece o meio de transferência de carga entre o ânodo e o cátodo. O eletrólito deve ser bom condutor iónico mas não pode ser condutor eletrónico uma vez que levaria a um curto-circuito interno. Deverá apresentar outras características, como por exemplo a não reatividade com os elétrodos, apresentar poucas alterações à mudança da temperatura, segurança no manuseamento e baixo custo.^[9]

Existem várias combinações vantajosas de ânodos e cátodos, mas nem sempre são viáveis devido à sua reatividade com outros componentes da bateria, polarização, difícil manuseamento e alto custo.^[9]

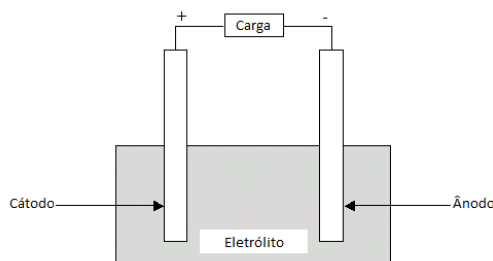


Figura 2.3 - Constituição de uma bateria^[10]

2.2.2 Tipo de baterias

As baterias classificam-se como primárias (não-recarregáveis) ou secundárias (recarregáveis). As baterias primárias não são recarregáveis e, portanto, são descarregadas uma vez e são, posteriormente, descartadas. As baterias secundárias podem ser recarregadas eletricamente, após a descarga até à sua condição original pelo processo inverso da descarga. São caracterizadas pela sua alta densidade de potência, alta taxa de descarga, curvas de descarga planas e bom desempenho a baixas temperaturas. Comparadas com as baterias primárias, estas possuem menor densidade de energia assim como inferior retenção de carga, isto é, menor retenção de uma carga elétrica quando nenhuma corrente está a ser extraída da bateria.^[9]

2.2.3 Funcionamento da bateria

Descarga

Quando a célula eletroquímica está ligada a uma carga elétrica externa, o ânodo liberta eletrões, ou seja, é oxidado. Estes eletrões fluem através de um circuito externo para o cátodo, onde são aceites e, portanto, o cátodo é reduzido. O circuito elétrico completa-se no eletrólito devido ao fluxo de aniões e catiões para o ânodo e o cátodo, respetivamente.

Na figura 2.4 b), está esquematizado a descarga de uma célula eletroquímica.

Carga

Durante a carga de uma célula eletroquímica, o fluxo de corrente é invertido. A oxidação ocorre no eletrodo positivo e a redução ocorre no eletrodo negativo, que neste caso correspondem ao ânodo e ao cátodo, respetivamente, devido ao facto de o ânodo ser, por definição, o local onde ocorre a oxidação. A partir da figura 2.4, verifica-se que o pólo positivo e negativo da bateria nunca se altera.

Na figura 2.4 a), está esquematizado o período de carga de uma célula eletroquímica.

.

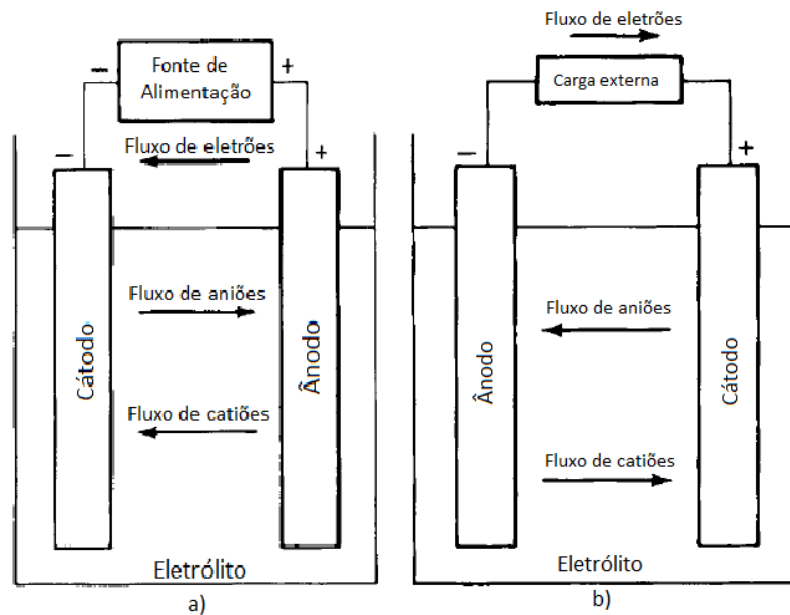


Figura 2.4 - Célula Eletroquímica esquematizada no período: a) Carga; b) Descarga (adaptado de (Handbook of batteries. 2004))

2.2.4 Baterias Recarregáveis

As baterias recarregáveis possuem características importantes tais como: a carga e a descarga devem ocorrer quase reversivelmente, devem ser energeticamente eficientes e devem ter mudanças físicas mínimas uma vez que estas podem limitar o seu ciclo de vida. A ação química deve estar ausente visto que pode causar deterioração dos componentes da bateria e por conseguinte, perda de capacidade. Assim, a bateria recarregável deve possuir características tais como, energia específica elevada, baixa resistência e bom desempenho numa ampla gama de temperaturas. Esses requisitos limitam o número de materiais que podem ser utilizados com sucesso num sistema de bateria recarregável.

As tabelas 1 e 2 apresentam os principais sistemas de baterias recarregáveis bem como os seus valores teóricos de potencial, capacidade e energia específica.

Tabela 1 - Baterias recarregáveis mais comuns, especificando o seu ânodo, cátodo e a reação de oxidação-redução (adaptado de (Handbook of batteries. 2004))

Tipo de bateria	Ânodo	Cátodo	Reação
Chumbo ácido	Pb	PbO ₂	$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2 \text{PbSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
Edison - Níquel-Ferro	Fe	Óxido de Ni	$\text{Fe} + 2 \text{NiOOH} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{Ni(OH)}_2 + \text{Fe(OH)}_2$
Níquel-Cádmio	Cd	Óxido de Ni	$\text{Cd} + 2 \text{NiOOH} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{Ni(OH)}_2 + \text{Cd(OH)}_2$
Níquel-Zinco	Zn	Óxido de Ni	$\text{Zn} + 2 \text{NiOOH} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{Ni(OH)}_2 + \text{Zn(OH)}_2$
Níquel-Hidrogénio	H ₂	Óxido de Ni	$\text{H}_2 + 2 \text{NiOOH} \rightleftharpoons 2 \text{Ni(OH)}_2$
Níquel-Hidreto de Metal	MH	Óxido de Ni	$\text{MH} + \text{NiOOH} \rightleftharpoons \text{M} + \text{Ni(OH)}_2$
Prata-Zinco	Zn	AgO	$\text{Zn} + \text{AgO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Zn(OH)}_2 + \text{Ag}$
Prata-Cádmio	Cd	AgO	$\text{Cd} + \text{AgO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cd(OH)}_2 + \text{Ag}$
Zinco-Cloro	Zn	Cl ₂	$\text{Zn} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{ZnCl}_2$
Zinco-Bromo	Zn	Br ₂	$\text{Zn} + \text{Br}_2 \rightleftharpoons \text{ZnBr}_2$
Lítio-íão	Li _x C ₆	Li _(1-x) CoO ₂	$\text{Li}_x\text{C}_6 + \text{Li}_{(1-x)}\text{CoO}_2 \rightarrow \text{LiCoO}_2 + \text{C}_6$
Lítio-Dióxido de Manganês	Li	MnO ₂	$\text{Li} + \text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2 \rightarrow \text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2(\text{Li})^+$
Lítio-Dissulfeto de Ferro	Li(Al)	FeS ₂	$2\text{Li(Al)} + \text{FeS}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{FeS}_2 + 2 \text{Al}$
Lítio-Monosulfeto de Ferro	Li(Al)	FeS	$2\text{Li(Al)} + \text{FeS} \rightarrow \text{Li}_2\text{S} + \text{Fe} + 2 \text{Al}$
Sódio-Enxofre	Na	S	$2 \text{Na} + 3 \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_3$
Sódio-Cloreto de Níquel	Na	NiCl ₂	$2 \text{Na} + \text{NiCl}_2 \rightarrow 2 \text{NaCl} + \text{Ni}$

Tabela 2 - Valores teóricos de potencial, capacidade e energia específica das baterias recarregáveis mais comuns (adaptado de (Handbook of batteries. 2004))

Tipo de bateria	Potencial (V)	Capacidade [g·(Ah) ⁻¹]	Energia específica (Wh·kg ⁻¹)
Chumbo ácido	2,1	8,32	252
Edison - Níquel-Ferro	1,4	4,46	314
Níquel-Cádmio	1,35	5,52	244
Níquel-Zinco	1,73	4,64	372
Níquel-Hidrogénio	1,5	3,46	434
Níquel-Hidreto de Metal	1,35	5,63	240
Prata-Zinco	1,85	3,53	524
Prata-Cádmio	1,4	4,41	318
Zinco-Cloro	2,12	2,54	835
Zinco-Bromo	1,85	4,17	572
Lítio-íão	4,1	9,98	410
Lítio-Dióxido de Manganês	3,5	3,5	1001
Lítio-Dissulfeto de Ferro	1,73	3,5	493
Lítio-Monosulfeto de Ferro	1,33	2,9	459
Sódio-Enxofre	2,1	2,65	792
Sódio-Cloreto de Níquel	2,58	3,28	787

2.3 Baterias Recarregáveis selecionadas

Posteriormente ao estudo das baterias foi necessário escolher quais as baterias a utilizar no trabalho proposto. Um conjunto de fatores devem ser considerados na seleção da melhor bateria para uma determinada aplicação. As características de cada bateria disponível, devem ser ponderadas de modo a selecionar uma que cumpra melhor as necessidades do trabalho pretendido.

Assim as considerações de maior importância aquando da seleção das baterias são:

- Tipo de bateria: é necessário neste trabalho a utilização de baterias secundárias, uma vez que se pretende que o HPL produzido possua capacidade de armazenamento de energia e por outro lado que efetue a descarga dessa energia;
- Sistema eletroquímico: convém avaliar as vantagens e desvantagens e características das baterias consoante os requisitos do trabalho proposto;
- Potencial: verificar qual o potencial de operação da bateria bem como o potencial máximo e mínimo permitido;
- Corrente de carga e perfil: é necessário neste trabalho que as baterias selecionadas apresentem corrente constante uma vez que se pretende que a corrente da bateria não varie com o potencial de operação.
- Ciclo de funcionamento: as baterias para este trabalho devem apresentar um ciclo de funcionamento permanente;
- Requisitos de temperatura: averiguar a gama de temperatura de operação das baterias;
- Vida útil: é preciso que as baterias selecionadas apresentem um tempo de operação elevado;
- Condições de armazenamento: devem de apresentar um estado de carga satisfatório durante o armazenamento e deve ser resistente às condições ambientais a que são sujeitas, tais como pressão, humidade, temperatura, entre outras;
- Segurança e fiabilidade: as baterias selecionadas devem ser seguras para o operador e para o ambiente mesmo quando sujeitas a condições extremas.

Assim, as baterias recarregáveis selecionadas foram as baterias de Níquel-Cádmio (Ni-Cd), Níquel-Hidreto Metálico (Ni-MH), Lítio-íão (De íões de lítio).

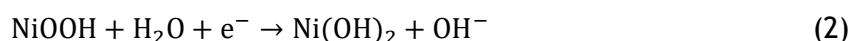
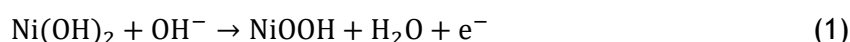
A bateria Ni-MH foi selecionada devido à sua baixa toxicidade, por incorporar componentes não perigosos e por possuir uma densidade de energia relativamente elevada. Por outro lado, a bateria Ni-Cd apesar de incorporar componentes tóxicos ou perigosos é relativamente mais estável que a bateria Ni-MH em contacto com o oxigénio. A bateria De íões de lítio foi também selecionada devido ao facto de terem sido as únicas encontradas com formato de bolsa, com

espessuras ultrafinas (0,55 mm), e também por possuírem uma elevada densidade energética e volumétrica quando comparadas com as baterias de Ni-MH e Ni-Cd.

2.4 Bateria Ni-Cd

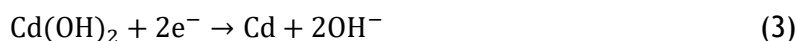
Como em qualquer outro sistema recarregável, a bateria Ni-Cd opera com o princípio que as reações eletroquímicas em cada um dos elétrodos é reversível. Assim, é possível armazenar energia durante a carga e libertá-la durante a descarga.

No elétrodo positivo ocorrem as seguintes reações, descritas pelas equações 1 e 2, que representam a carga e a descarga, respetivamente^[17].

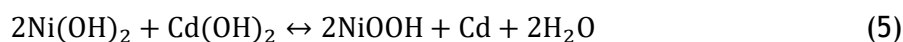


As espécies Ni(OH)_2 , hidróxido de níquel, e NiOOH , hidroxi(oxo)níquel, são denominadas como par reversível, capazes de se transformar um no outro durante a carga e a descarga. Assim durante a carga, a energia elétrica proveniente de uma fonte externa é armazenada como energia química na célula, onde o Ni(OH)_2 oxida-se transformando-se em NiOOH . Durante a descarga, o NiOOH reduz-se, transformando-se em Ni(OH)_2 , libertando energia química armazenada como energia elétrica.

No elétrodo negativo ocorrem as seguintes reações, descritas pelas equações 3 e 4, que representam a carga e a descarga, respetivamente^[17].



Combinando as equações obtém-se a equação global da bateria, equação 5^[17].



A densidade de energia destas baterias é inferior aos sistemas recarregáveis de Ni-MH e de Lítio. Contudo são baterias duráveis, confiáveis, fáceis de usar e económicas^[17].

2.4.1 Carga

O potencial durante a carga é afetado pela corrente, temperatura ambiente e tempo. À mesma temperatura ambiente, um aumento de corrente gera uma maior tensão devido ao potencial em ambos os elétrodos, figura 7.1, anexo 1. Se a bateria estiver sobrecarregada ocorre uma ligeira diminuição do potencial uma vez que ocorre um aumento da temperatura, devido à exotermicidade da reação de recombinação do O_2 ^[17], equações 7 e 8^[18]. Como resultado a pressão interna aumenta e o calor gera-se durante a sobrecarga e dissipa-se para o meio ambiente.^[17]



À medida que a bateria se aproxima da sua carga total, o oxigénio gasoso começa a gerar-se no eléctrodo positivo devido ao processo de eletrólise, equação 6. O O_2 formado no eléctrodo positivo difunde para o eléctrodo negativo e é consumido pela reação de recombinação do O_2 .^[18]

A equação 7 representa a combinação direta do O_2 com o Cd, que está presente em quantidades significativas no eléctrodo negativo. A equação 8 é o inverso da reação de eletrólise, equação 6, que originalmente gerou O_2 no eléctrodo positivo.^[18]

2.4.2 Descarga

O potencial durante a descarga é afetado também pela temperatura ambiente e pela corrente. A baixas temperaturas, o potencial durante a descarga é inferior devido ao facto de as baterias de Ni-Cd utilizarem um eletrólito líquido, resultando assim, numa menor transferência de iões. A correntes elevadas, o potencial durante a descarga é inferior, uma vez que os eléctrodos encontram-se mais polarizados, figura 7.2, anexo 1.^[17]

2.4.3 Armazenamento

Durante o armazenamento, a bateria perde energia devido a pequenas correntes de auto-descarga dentro da mesma. Estas podem ocorrer devido à decomposição do hidróxido de níquel no eléctrodo positivo ou devido às reações paralelas que ocorrem devido a impurezas.

As temperaturas elevadas provocam uma maior existência de auto-descargas e, portanto, o armazenamento longo deve ser realizado à temperatura ambiente, uma vez que as altas temperaturas deterioram os materiais da bateria, figura 7.3, anexo 1. Normalmente, a perda da capacidade da bateria devido a auto-decarga pode ser recuperada pela recarga.^[17]

2.4.4 Ciclo de vida

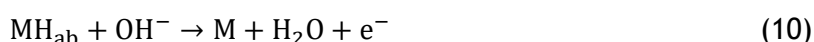
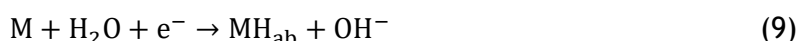
O número de ciclos de funcionamento da bateria é afetado pela temperatura, bem como pela profundidade de carga e descarga. As altas temperaturas deterioram os constituintes da bateria reduzindo assim o número de ciclos da mesma. As baixas temperaturas facilitam a recombinação lenta do O_2 , durante a sobrecarga, podendo ocorrer uma secagem prematura do eletrólito. O excesso de carga afeta a temperatura da bateria e a pressão interna de O_2 . Ambos os fatores danificam os eléctrodos e, portanto, o número de ciclos diminui. Se a bateria for submetida repetidamente a um excesso de descarga, o número de ciclos também diminui. Sob condições normais de carga, descarga e armazenamento a bateria de Ni-Cd pode atingir mais de 500 ciclos, figura 7.4, anexo 1.^[17]

2.5 Bateria Ni-MH

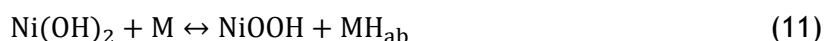
A bateria de Ni-MH é uma extensão das baterias de Ni-Cd explicadas anteriormente, com a diferença do eletrodo negativo, devido à substituição do eletrodo negativo à base de cádmio por ligas de absorção de hidrogénio.^[19,20]

A bateria de Ni-MH é constituída por hidróxido de níquel como eletrodo positivo e por ligas de absorção de hidrogénio, capazes de o absorver e libertá-lo em volumes até quase mil vezes o seu próprio volume, no eletrodo negativo.^[19] Esta bateria é alcalina devido ao uso de hidróxido de potássio (KOH) como eletrólito.^[20,21]

As reações que ocorrem no eletrodo positivo são similares às que ocorrem no sistema Ni-Cd, equações 1 e 2. No eletrodo negativo ocorrem as seguintes reações, descritas pelas equações 9 e 10, que representam a carga e a descarga, respetivamente.



Combinando as equações obtém-se a equação global da bateria, equação 8:



onde, M representa uma liga de absorção de hidrogénio e H_{ab} representa hidrogénio absorvido.^[20]

2.5.1 Eletrodo negativo

O conceito básico do eletrodo negativo da bateria de Ni-MH provém da pesquisa sobre o armazenamento de hidrogénio como fonte de energia alternativa.^[19]

Na realidade, o material ativo do eletrodo negativo é hidrogénio que se encontra armazenado na estrutura do hidreto metálico que serve como eletrodo. Existem muitos materiais elementares de hidreto metálico, porém, nem todos são práticos para a utilização em baterias, devido à alta pressão exibida à temperatura ambiente. Por esse motivo, desenvolveu-se compostos intermediários que combinam hidretos fracos e fortes.^[22]

Os hidretos metálicos são ligas de 2 ou mais elementos metálicos com bandas estreitas de estequiometrias completas. Dividem-se e classificam-se por A_xB_y com base na sua estrutura cristalina e na sua composição. A variação destes componentes permite projetar materiais com certas características, tais como: baixa pressão de equilíbrio, resistência à corrosão, estabilidade mecânica, etc. ^[22]

Tabela 3 - Classe e materiais de hidreto de metal (adaptado de (Kopera, 2004))

Classe A_xB_y	Componentes	Capacidade de armazenamento ((mAh)g ⁻¹)	Utilidade
AB₅	A: La, Ce, Ti, Mischmetal B: Ni, Co, Mn, Al	300	Hidreto metálico mais comum nas baterias Ni-MH
AB₂	A: V, Ti B: Zr, Ni	400	Base das ligas multicomponentes usadas em alguns sistemas de baterias Ni-MH.
AB	A: Zr, Ti B: Ni, Fe, Cr, V	_____	Usadas nos primórdios da descoberta do armazenamento de hidrogénio
A₂B	A: Mg, Ti B: Ni	_____	

O eléctrodo negativo da bateria Ni-MH possui uma capacidade teórica 40% superior do que o eléctrodo da bateria Ni-Cd e pode, dependendo da sua composição, manter entre 1% e 7% de H₂ em peso. Consequentemente, as baterias Ni-MH fornecem densidades de energia cerca de 20% superiores à bateria equivalente de Ni-Cd.^[19,22]

2.5.2 Carga

A carga da bateria de Ni-MH e a sua eficiência são afetadas pela corrente, tempo e temperatura. O potencial durante a carga aumenta com o aumento da corrente e com as baixas temperaturas. A carga deve ser efetuada numa gama de temperaturas de 0 a 40 °C, figura 8.1, anexo 2. A carga repetida a temperaturas superiores e inferiores às referidas anteriormente, danifica a bateria, bem com a sobrecarga repetida.^[20]

2.5.3 Descarga

A descarga da bateria Ni-MH e a sua eficiência são afetadas também pela corrente, temperatura, etc. O potencial durante a descarga bem como a eficiência diminuem proporcionalmente à medida que a temperatura decresce e a corrente aumenta, figura 8.2, anexo 2.^[20]

2.5.4 Armazenamento

A bateria Ni-MH perde energia durante o armazenamento devido a pequenas correntes internas de auto-descarga, que deterioram-na. Estas podem ocorrer devido à oxidação do eletrodo negativo ou devido à deterioração do eletrodo positivo.

As temperaturas elevadas provocam uma maior existência de auto-descargas e, portanto, o armazenamento longo deve ser realizado à temperatura ambiente, uma vez que as altas temperaturas deterioram os materiais da bateria, figura 8.3, anexo 2.^[20]

2.5.5 Ciclo de vida

O número de ciclos da bateria Ni-MH é afetado por muitos fatores, tais como, a sua capacidade, temperatura, profundidade de carga, corrente de carga e descarga, sobrecarga, sobre descarga, condições de armazenamento, entre outras.

Alguns destes fatores, como as baixas temperaturas, por exemplo, facilitam a recombinação lenta do gás dentro da bateria, o que pode levar à ativação da ventilação de segurança e consequentemente a deterioração permanente da bateria. Sob condições normais de carga, descarga e armazenamento, a bateria de Ni-MH pode atingir mais de 500 ciclos, figura 8.4, anexo 2.^[20]

2.6 Bateria de íões de lítio

As baterias de íões de lítio são altamente avançadas em comparação com outras baterias recarregáveis, em termos de energia gravimétrica e volumétrica. A figura 2.5 compara as densidades de energia de diferentes baterias recarregáveis, o que demonstra a superioridade das baterias de íões de lítio em comparação com outras baterias.^[23]

A bateria de íões de lítio consiste num eletrodo positivo, um óxido metálico que contém íões de lítio na sua estrutura como por exemplo, LiCoO_2 , *Lithium cobalt oxide*, LiNiO_2 , *Lithium nickel dioxide*, LiMn_2O_4 , *Lithium manganese oxide*, e num eletrodo negativo à base de carbono, como por exemplo, grafite, *Graphitizable carbon* e *Nongraphitizable carbon*.^[24]

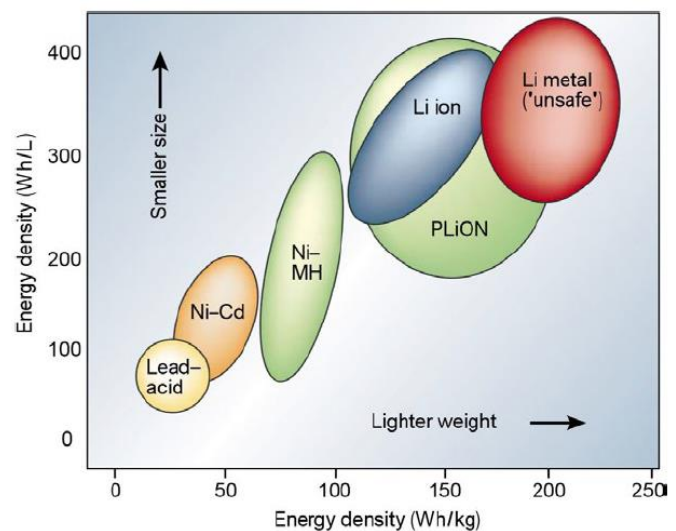


Figura 2.5 - Comparação das densidades de energia das baterias recarregáveis^[23]

Os elétrodos são isolados por um separador, normalmente uma membrana polimérica microporosa, que permite a troca de íons de lítio entre os elétrodos. O eletrólito usado contém íons de lítio.^[24]

Como exemplo explica-se a eletroquímica de uma bateria de íons de lítio recarregável com LiCoO_2 , como elétrodo positivo e carbono altamente cristalizado como elétrodo negativo.

As reações químicas para a carga e descarga estão apresentadas abaixo, equações 12 e 13:

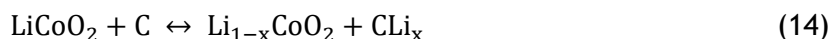
- Elétrodo positivo:



- Elétrodo negativo:



Combinando as equações obtém-se a equação global da bateria, equação 14:



O Lítio, Li, presente no elétrodo positivo, LiCoO_2 , é ionizado durante a carga e move-se de camada em camada no elétrodo negativo. Durante a descarga, os íons movem-se para o elétrodo positivo e formam o composto original, figura 2.6.^[25]

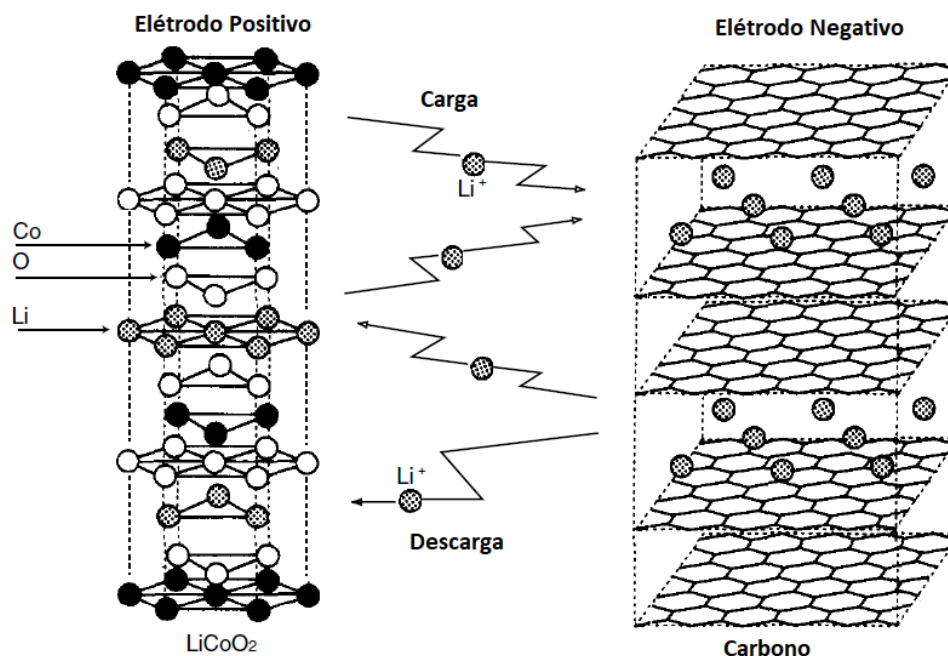


Figura 2.6 - Esquema da reação química da bateria de íons de Lítio
(adaptado de (Panasonic Batteries, 1999))

2.6.1 Carga

A figura 9.1 do anexo 3 mostra a variação do potencial, corrente e da capacidade de carga durante a carga sob condições de potencial e corrente constante. Quando a bateria estiver totalmente carregada, a corrente deve ser cortada, uma vez que a sobrecarga da bateria causaria o revestimento do lítio metálico e tal poderia comprometer a segurança da bateria.^[27]

2.6.2 Descarga

A descarga da bateria de íões de lítio é afetada pela corrente, temperatura, etc. O potencial durante a descarga bem como a eficiência diminuem proporcionalmente à medida que a temperatura decresce e a corrente aumenta, figura 9.2, anexo 3.

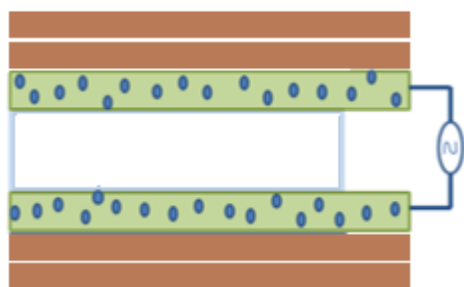
2.6.3 Ciclo de vida

A bateria de íões de lítio sob condições normais de carga, descarga e armazenamento pode atingir mais de 500 ciclos, figura 9.3, anexo 3.^[26]

2.7 Incorporação de uma bateria num laminado

O projeto tem como principal objetivo a incorporação de baterias recarregáveis num laminado, conferindo-lhe assim, capacidade de armazenamento de energia. A SIR já possui alguma experiência na incorporação de sistemas eletroquímicos em laminados, nomeadamente de uma célula electrocrómica. Assim, a estratégia definida para o projeto baseia-se neste conhecimento e nas tecnologias de baterias existentes.

De modo a tornar o produto apelativo ao cliente, pretende-se que a bateria incorporada no laminado seja impercetível. Para tal é necessário desenvolver uma bateria de espessura reduzida que suporte as condições de pressão e temperatura a que um HPL fica sujeito aquando da sua prensagem. Por outro lado, poder-se-á incorporar uma bateria recarregável, plana e de espessura reduzida, como por exemplo as baterias de saco (*pouch cells*), e que suportem as condições de prensagem de um HPL. Neste projeto, pretende-se que a bateria se localize no centro do HPL, separando as camadas de papel *kraft* que lhe conferem rigidez e estrutura.



A figura 2.7 ilustra, esquematicamente, a incorporação de um sistema eletroquímico num HPL.^[11]

Figura 2.7 - Esquema da incorporação de um sistema eletroquímico num HPL^[11]

O IKEA desenvolveu produtos com o mesmo objetivo desta dissertação, contudo a tecnologia não é semelhante. A empresa desenvolveu carregadores sem fios, evidentes na figura 2.8 e 2.9.



Figura 2.8 - Carregadores *Nordmarke*^[13]



Figura 2.9 - Carregadores *Rallen*^[12]



Os carregadores *Rallen* incorporam-se no mobiliário, como mesas-de-cabeceira ou candeeiros ^[12], figura 2.10, ou podem funcionar como um dispositivo individual, tais como o carregador *Nordmarke*^{[12], [13]}.

Figura 2.10 - Incorporação do carregador *Rallen* no mobiliário^[12]

Outro trabalho não muito semelhante funciona através de indutores acoplados. Uma fonte de alimentação é ligada a uma bobina primária e posteriormente, um potencial elétrico oscilatório é aplicado através desta, o que induz um campo magnético oscilante que poderá induzir corrente elétrica oscilante numa bobina secundária, colocada próxima da primeira.^[14]

Através da patente desenvolvida, foi proposta uma estação de energia sem contacto (CLPS) fundamentada na indução eletromagnética entre bobinas tendo como objetivo a produção e o uso prático de um sistema que permite fornecer energia elétrica aos equipamentos colocados em cima da mesa, figura 2.11.^[15]

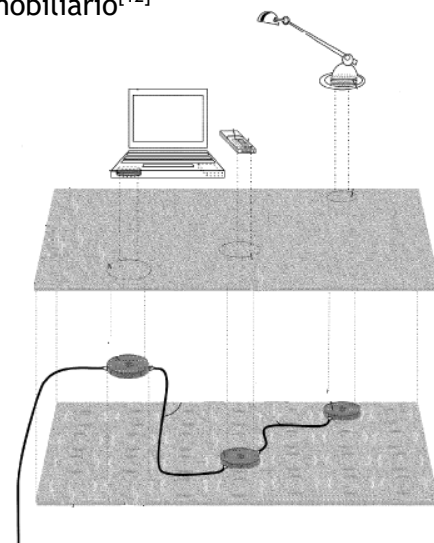


Figura 2.11 - Esquema da estação de energia sem contacto^[14]

3 Materiais e Métodos

Este capítulo descreve detalhadamente as técnicas e procedimentos experimentais adotados ao longo do projeto, desde a construção de uma bateria recarregável plana de espessura reduzida a partir das baterias adquiridas, bem como a incorporação destas e das *pouch cells* no HPL. Inicialmente, descreve os materiais e equipamentos usados ao longo deste trabalho.

Um dos equipamentos utilizados foi um potenciômetro, marca Zahner, figura 3.1. O potenciômetro possui várias funcionalidades, mas neste trabalho usou-se exclusivamente para a descarga das baterias e para a obtenção dos ciclos de carga e descarga das baterias adquiridas e montadas através do software Thales.



Figura 3.1 - Potenciômetro utilizado ao longo deste trabalho

Outro equipamento utilizado foi a câmara de luvas, marca Mbraun e modelo Labstar, figura 3.2. A câmara de luvas consiste num reservatório que mantém o objeto num ambiente isolado e isento de oxigénio. Outra característica deste material é a facilidade de manuseamento do material a partir do seu exterior, bem como a passagem do mesmo para dentro e para fora da câmara de luvas sem contaminação da sua atmosfera^[16].



Figura 3.2 - Caixa de luvas utilizada nos ensaios experimentais realizados^[11]

3.1 Métodos experimentais

O subcapítulo 3.1 apresenta de forma detalhada todos os procedimentos e técnicas experimentais utilizadas ao longo desta dissertação com o objetivo de construir uma bateria plana a partir das baterias adquiridas, bem como da sua incorporação nos constituintes do HPL.

3.1.1 Método experimental inicial

Após a descarga da bateria, realizou-se a sua abertura, figura 3.4, na *hotte* ou na câmara de luvas, observando-se na figura 3.5 o seu aspeto.



Figura 3.3 - Célula eletroquímica recarregável aquando da abertura.



Figura 3.4- Célula eletroquímica recarregável após abertura

Como eletrólito utilizou-se uma solução de KOH de concentração 1 M. Como separador utilizou-se papel decorativo seco de modo a incorporar os constituintes do HPL. Para cada um dos elétrodos utilizou-se lâminas de vidro FTO, *Fluorine doped Tin Oxide*, como coletor de corrente^[11], que são revestidas numa das faces com uma película de óxido de estanho dopado de flúor, sendo que em todos os ensaios foi usada uma área efetiva de 3 cm².

Elétrodo negativo – ânodo

O ânodo consiste num material presente na malha metálica, figura 3.5. Posteriormente procedeu-se à sua raspagem, maceração, e de seguida cria-se uma pasta anódica, figura 3.6, através do auxílio de acetona. A pasta anódica é depositada na área efetiva do vidro FTO.

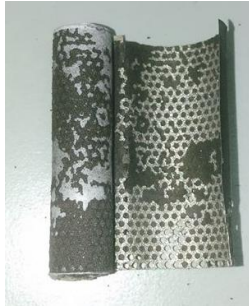


Figura 3.5 - Eléttrodo positivo da célula eletroquímica



Figura 3.6 - Pasta anódica

Eléttrodo positivo – cátodo

O cátodo, por sua vez, vem em forma de pasta, figura 3.7. Procedese à sua maceração, e através do mesmo solvente cria-se uma pasta catódica, figura 3.8 e posteriormente deposita-se esta no vidro FTO.

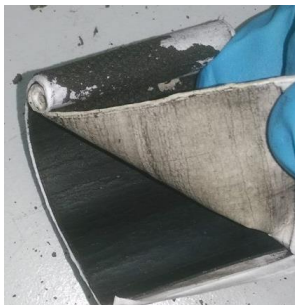


Figura 3.7 - Eléttrodo positivo da célula eletroquímica



Figura 3.8 - Pasta catódica

Montagem da bateria

Na base coloca-se um dos eléctrodos. De seguida é colocado o papel decorativo, como separador. O eletrólito é colocado sob o separador com o auxílio de uma pipeta de *Pasteur*. O volume de eletrólito não deve ser demasiado, mas suficiente para ocorrer a transferência de eletrões. Posteriormente coloca-se o outro eléctrodo de face para baixo de maneira a que as áreas efetivas sejam coincidentes. Por fim efetua-se a montagem da bateria, figura 3.9.

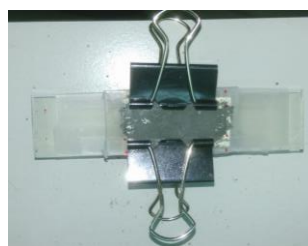


Figura 3.9 - Montagem da bateria

3.1.2 Método experimental utilizado

Após a descarga da bateria, figura 3.10, realizou-se a sua abertura na *hotte* ou na câmara de luvas, observando-se na figura 3.11 o seu aspeto.



Figura 3.10 - Bateria antes da sua abertura



Figura 3.11 - Bateria após a sua abertura

Posteriormente separa-se os constituintes da bateria, nos seus constituintes principais, o cátodo, figura 3.12, o ânodo, figura 3.13, e por último o separador, figura 3.14.



Figura 3.12 - Eléctrodo positivo da célula eletroquímica



Figura 3.13 - Eléctrodo negativo da célula eletroquímica



Figura 3.14 - Separador da célula eletroquímica

Montagem da bateria

Na base coloca-se fita de *Kápton* capaz de suportar temperaturas elevadas: 260 - 300 °C, e fita de cobre, figura 3.15. Sobre a base, põe-se o coletor de corrente (folha de alumínio, placa de aço inoxidável, etc.), figura 3.16.



Figura 3.15 - Base da bateria montada



Figura 3.16 - Base da bateria montada com coletor de corrente

Neste trabalho reutiliza-se a totalidade dos materiais ativos da bateria, sem nenhum tratamento prévio. Portanto, de seguida, coloca-se o elétron negativo e o separador, figura 3.17. Posteriormente coloca-se o cátodo, figura 3.18.



Figura 3.17 - Colocação do eletrodo negativo e separador na base

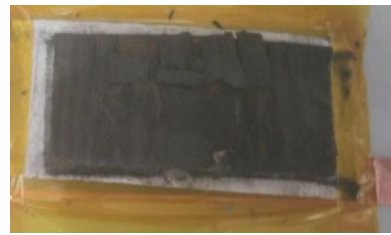


Figura 3.18 - Colocação do eletrodo positivo sobre o separador

Por fim, coloca-se por cima o coletor de corrente, uma fita de cobre e por fim sela-se a bateria plana através da fita de *Kápton*, figura 3.19.



Figura 3.19 - Bateria montada

3.1.3 Prensagem do HPL com incorporação da bateria

A última etapa deste projeto passa pela incorporação da bateria no HPL. Inicialmente coloca-se o papel *kraft* para formar a base do laminado, figura 3.20. De seguida recorta-se algumas folhas de *kraft* com as dimensões da bateria, figura 3.21, de modo a criar um reservatório para a bateria. Isto é realizado para aquando da prensagem, a bateria não ser exposta a pressões elevadas que podem levar à rutura da mesma. Posteriormente coloca-se as folhas de papel *kraft* em cima da base do laminado, figura 3.22.



Figura 3.20 - Base do laminado



Figura 3.21 - Reservatório para a bateria



Figura 3.22 - Base do laminado com o reservatório para a bateria

Seguidamente, coloca-se a bateria, figura 3.23 e adiciona-se mais uma camada de papel de *kraft* e por fim papel decorativo, figura 3.24.



Figura 3.23 - Colocação da bateria no reservatório

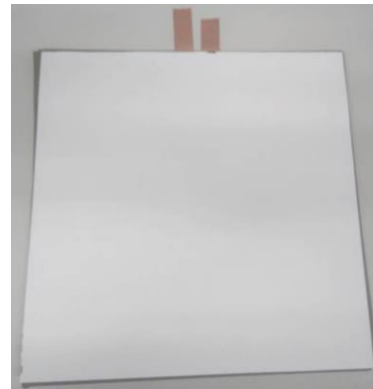


Figura 3.24 - Montagem do laminado com a bateria já incorporada

Posteriormente o laminado irá à prensa de pratos quentes, figura 3.25, onde irá ser prensado a uma temperatura de 140 °C e a uma pressão de 90 kg·cm⁻² durante 720 s.



Figura 3.25 - Laminado dentro da prensa de pratos quente

4 Resultados e Discussão

Depois de definido o método experimental para a reconstrução da bateria plana recarregável a partir das baterias adquiridas, iniciou-se o estudo das variáveis determinantes no processo, tais como, a avaliação da estabilidade da bateria em contacto com uma atmosfera com oxigénio ou isenta do mesmo, bem como a avaliação dos ciclos de carga e descarga da bateria.

Após o conhecimento destes parâmetros, iniciou-se a incorporação das baterias montadas num HPL, e para tal usou-se papel *kraft* já impregnado para conferir rigidez e estrutura ao HPL.

A nomenclatura utilizada para identificação das baterias e dos HPL obtidos segue a seguinte regra na maior parte dos casos: nomedabateria - A/M (adquirida/montada através do método experimental) - #númerodabateria. As únicas que não cumprem a regra são as baterias FTONiCd#1 e FTONiMH#1 que correspondem às baterias construídas a partir do método experimental inicial.

4.1 Avaliação da estabilidade da bateria após descapsulação

Para avaliar o desempenho da bateria montada através do método experimental explicado no subcapítulo 3.1.1 foi realizado um primeiro teste para verificar a possível influência do oxigénio atmosférico quer no material ativo quer no eletrólito. Para tal foi registada a estabilidade das baterias montadas durante 120 min, valores estes indicados na figura 4.1 e 4.2.

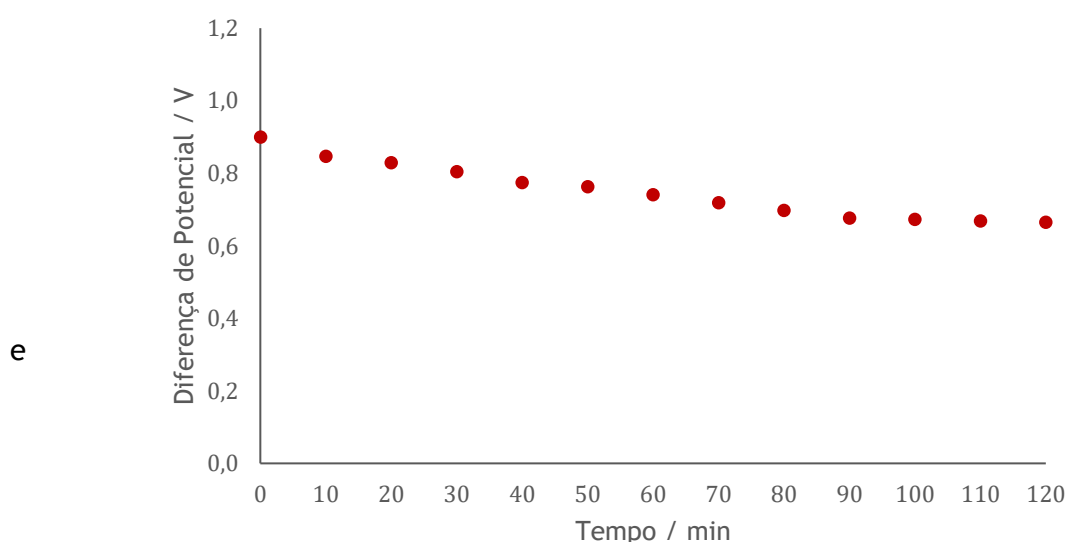


Figura 4.1 - História da diferença de potencial da bateria de Ni-Cd aberta em contacto com o ar - FTONiCd#1

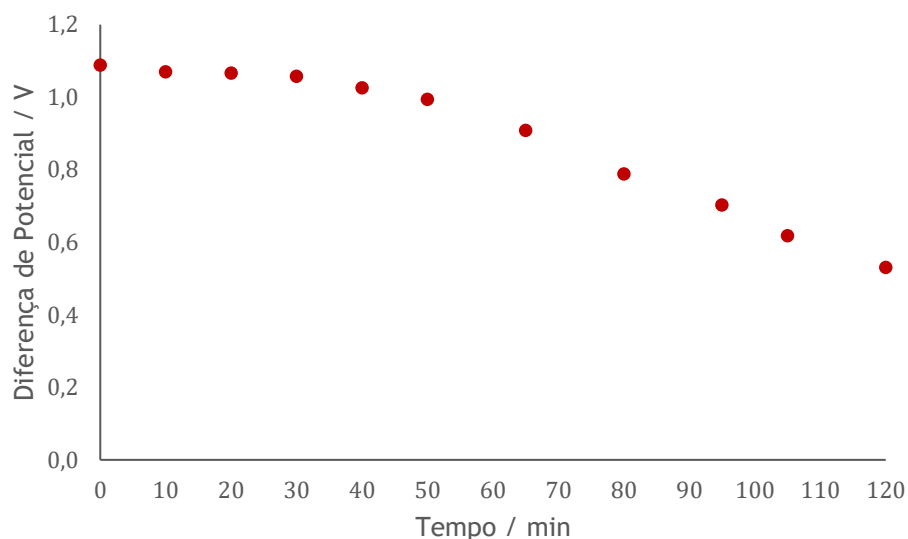


Figura 4.2 - História da diferença de potencial da bateria Ni-MH aberta em contacto com o ar - FTONiMH#1

Através da análise das figuras 4.1 e 4.2 verifica-se que, após 120 minutos, o valor do potencial da bateria montada decresceu significativamente para valores inferiores a 0,90 V, tornando assim a bateria não funcional. Tal já era esperado, uma vez que o oxigénio presente na atmosfera oxida o eléctrodo não oxidado e, portanto, a bateria perde capacidade ao longo do tempo.

Por outro lado, verifica-se que a bateria Ni-Cd é mais estável em contacto com o oxigénio do que a bateria de Ni-MH. De modo a verificar a influência do oxigénio no desempenho da bateria, foi realizado um ensaio na câmara de luvas e os valores obtidos estão representados nas figuras 4.3 e 4.4.

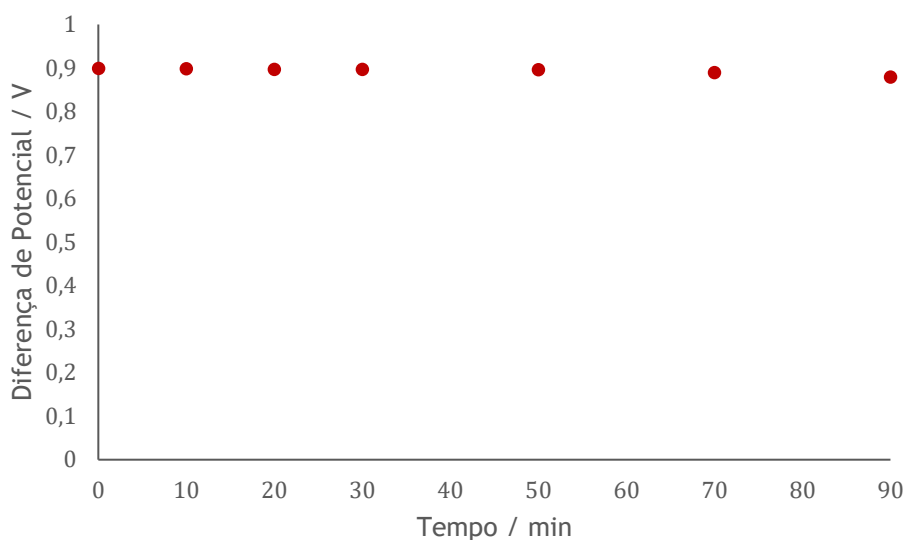


Figura 4.3 - História da diferença de potencial da bateria de Ni-Cd montada na caixa de luvas - FTONiCd#2

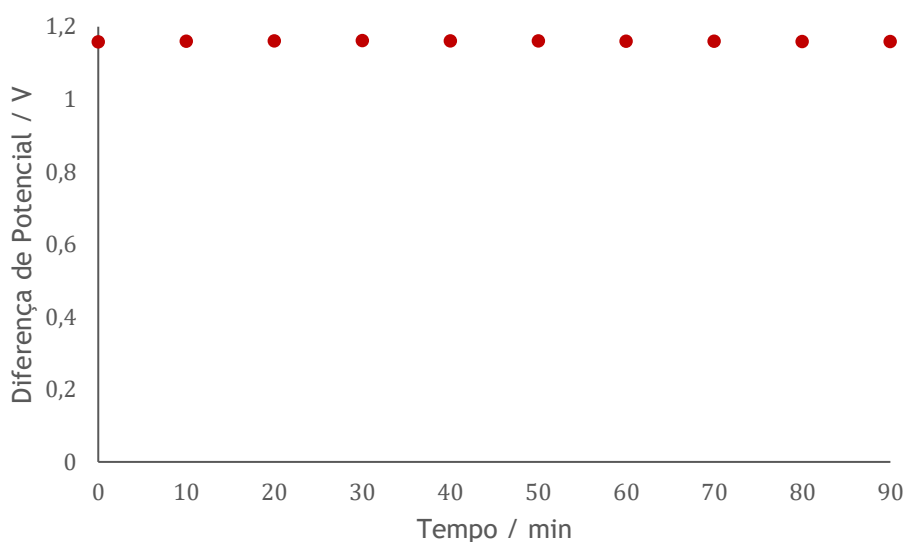


Figura 4.4 - História da diferença de potencial da bateria de Ni-MH montada na caixa de luvas - FTONiMH#2

Através da análise das figuras 4.3 e 4.4, verifica-se que, após 90 minutos, o potencial das baterias montadas mantém-se aproximadamente constante ao longo do tempo.

Portanto, conclui-se que o oxigénio tem uma influência importante no desempenho da bateria.

4.2 Avaliação dos ciclos de carga e descarga das baterias

De modo a avaliar a capacidade das baterias montadas, comparou-se os ciclos de carga e descarga das baterias montadas com as originais. Os ciclos de carga e descarga foram obtidos através da estação eletroquímica (usou-se a funcionalidade *battcycling* do software Thales). Estes ciclos são realizados a corrente constante.

Nos gráficos apresentados ao longo dos próximos subcapítulos a linha vermelha corresponde ao potencial e a linha azul à intensidade de corrente.

As figuras 4.5 e 4.6 correspondem aos ciclos de carga e descarga de uma bateria Ni-Cd antes da sua descapsulação.

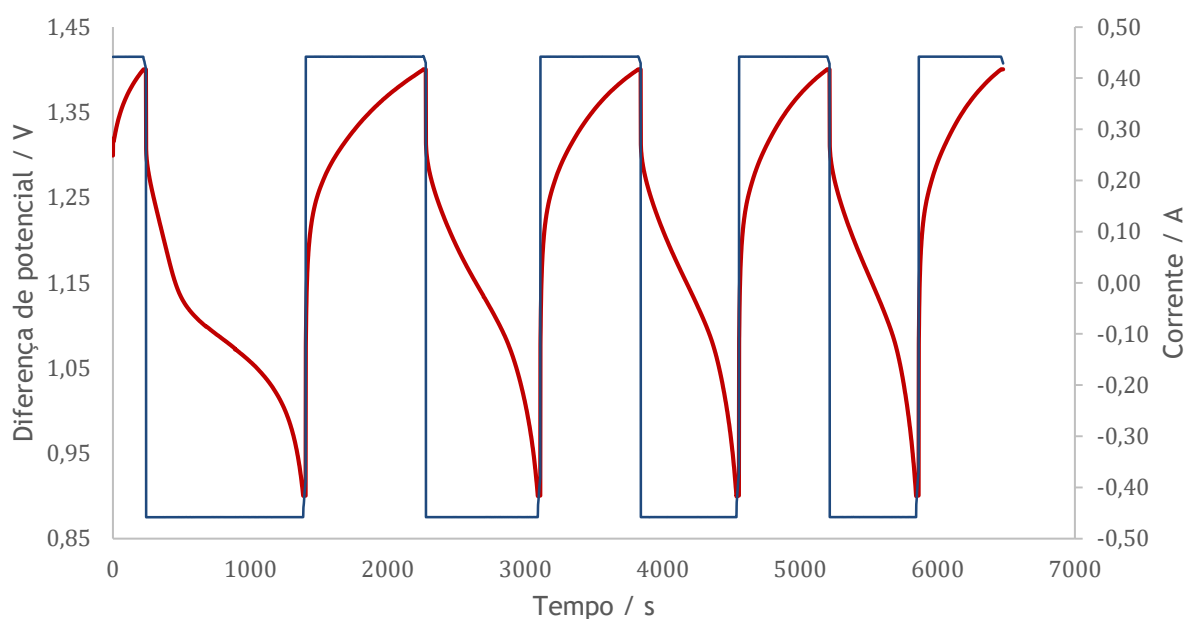


Figura 4.5 - Ciclos de carga e descarga da bateria Ni-Cd adquirida - NiCdA#1

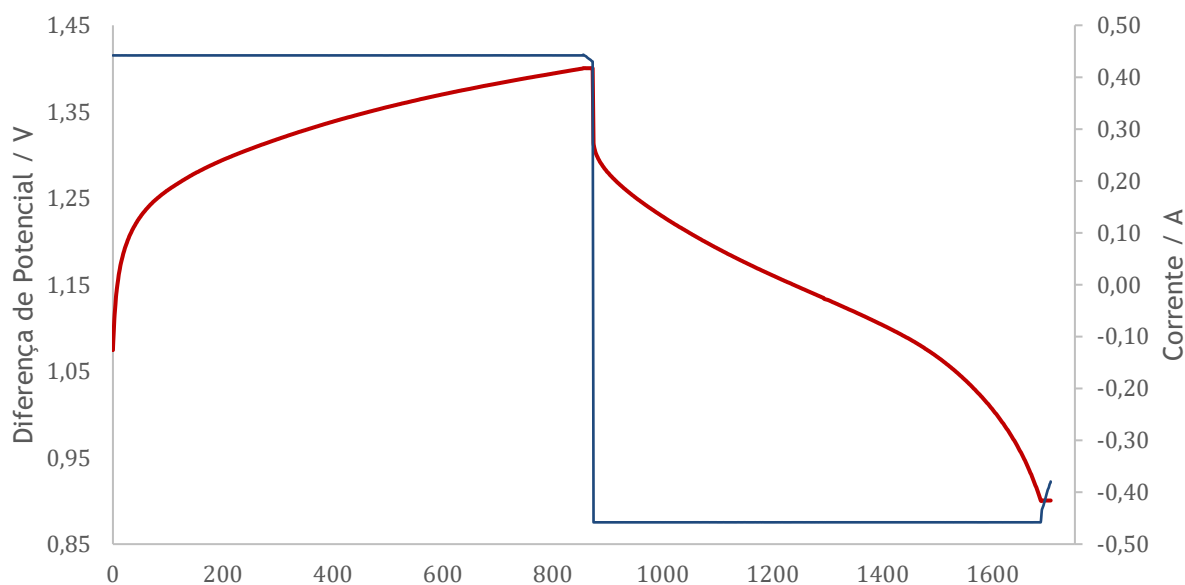


Figura 4.6 - Ciclo de carga e descarga da bateria Ni-Cd adquirida - NiCdA#1

As figuras 4.7 e 4.8 correspondem aos ciclos de carga e descarga de uma bateria Ni-Cd, depois de aberta e montada através do método experimental explicado no subcapítulo 3.1.2.

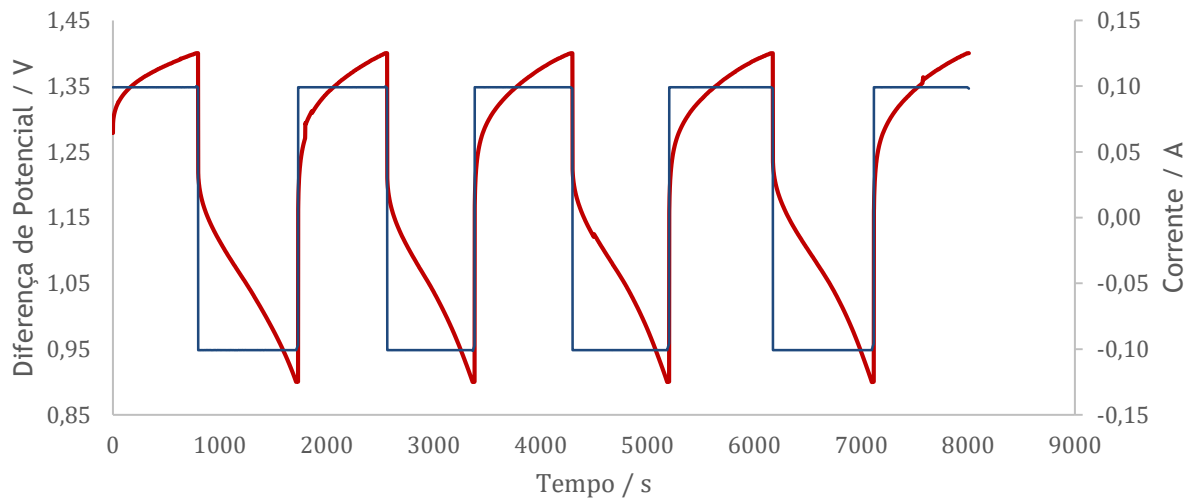


Figura 4.7 - Ciclos de carga e descarga da bateria Ni-Cd plana de espessura reduzida - NiCdM#1

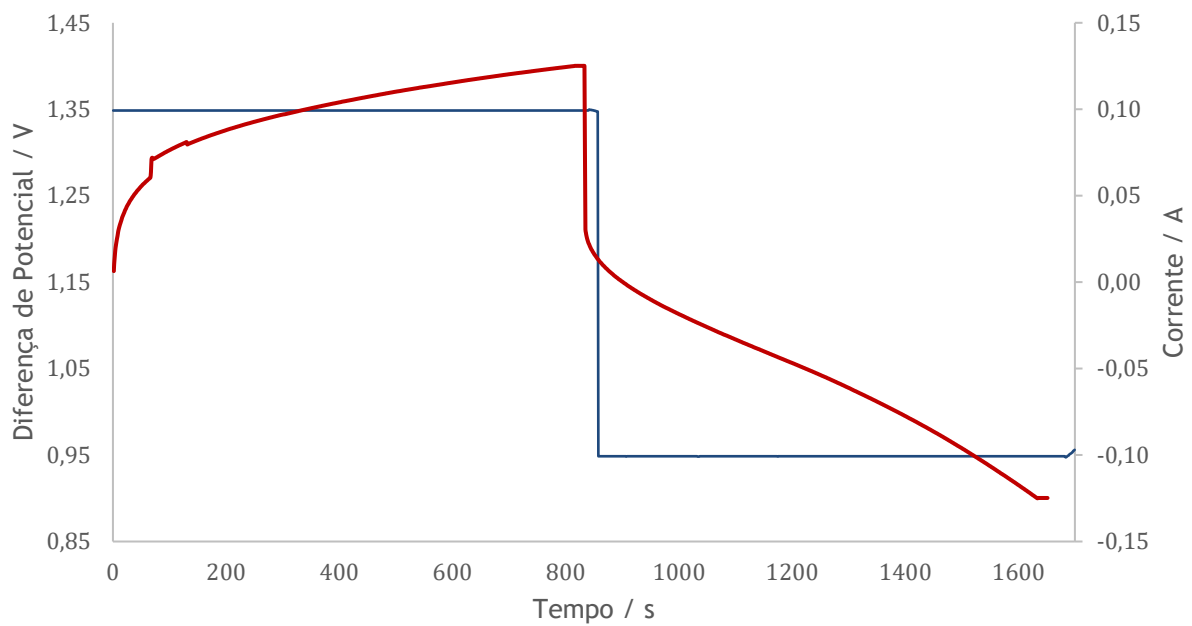


Figura 4.8 - Ciclo de carga e descarga da bateria Ni-Cd plana de espessura reduzida - NiCdM#1

As figuras 4.9 e 4.10 correspondem aos ciclos de carga e descarga de uma bateria Ni-MH antes da sua descapsulação.

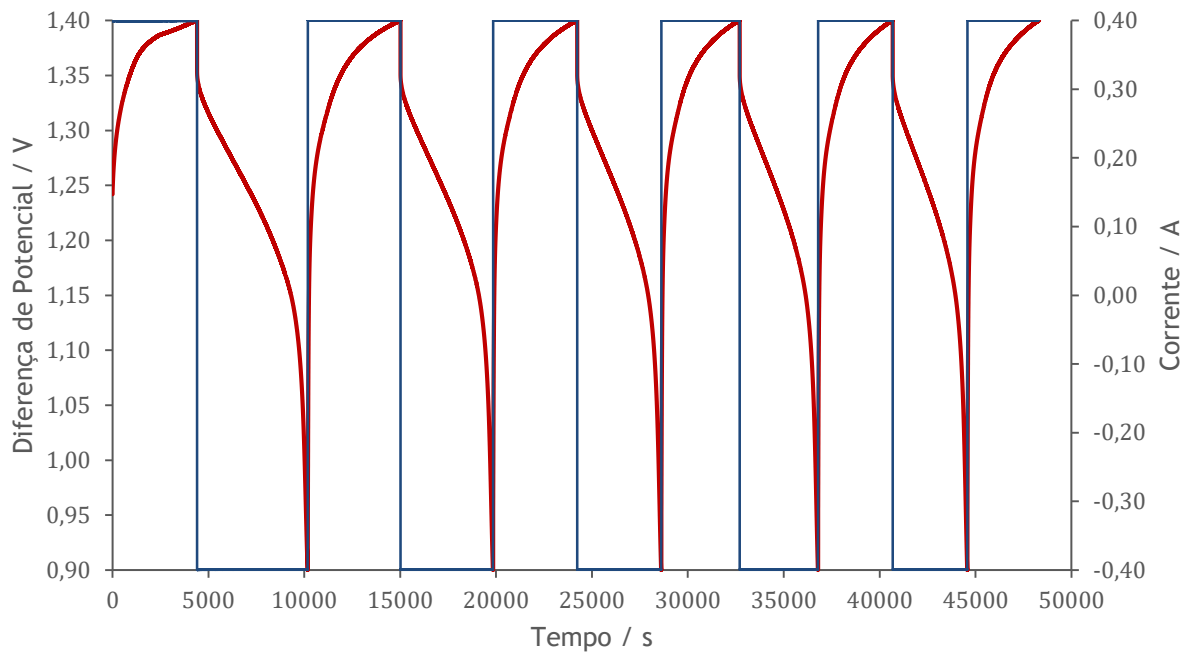


Figura 4.9 - Ciclos de carga e descarga da bateria Ni-MH adquirida - NiMHA#1

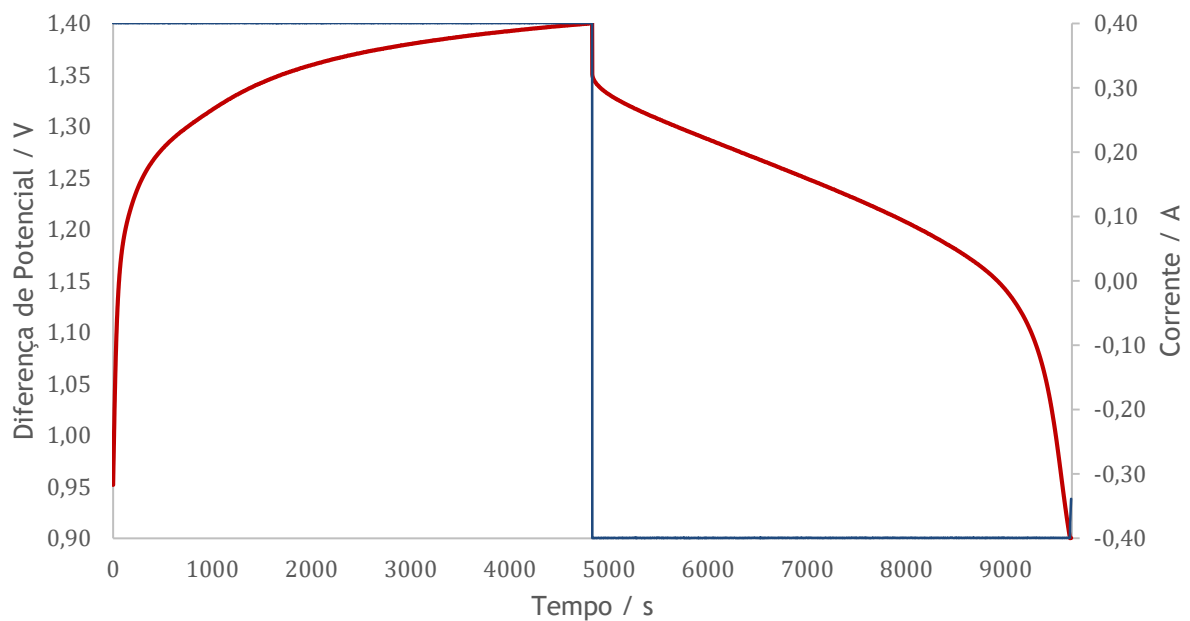


Figura 4.10 - Ciclo de carga e descarga da bateria Ni-MH adquirida - NiMHA#1

As figuras 4.11 e 4.12 correspondem aos ciclos de carga e descarga de uma bateria Ni-MH, depois de aberta e montada através do método experimental explicado no subcapítulo 3.1.2.

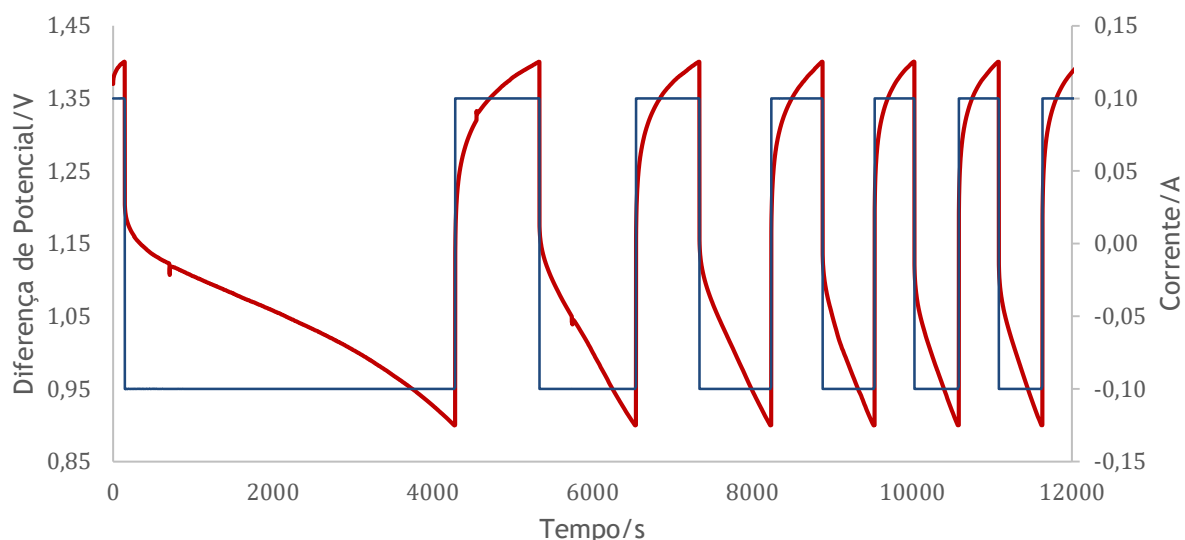


Figura 4.11 - Ciclos de carga e descarga da bateria Ni-MH plana de espessura reduzida - NiMHM#1

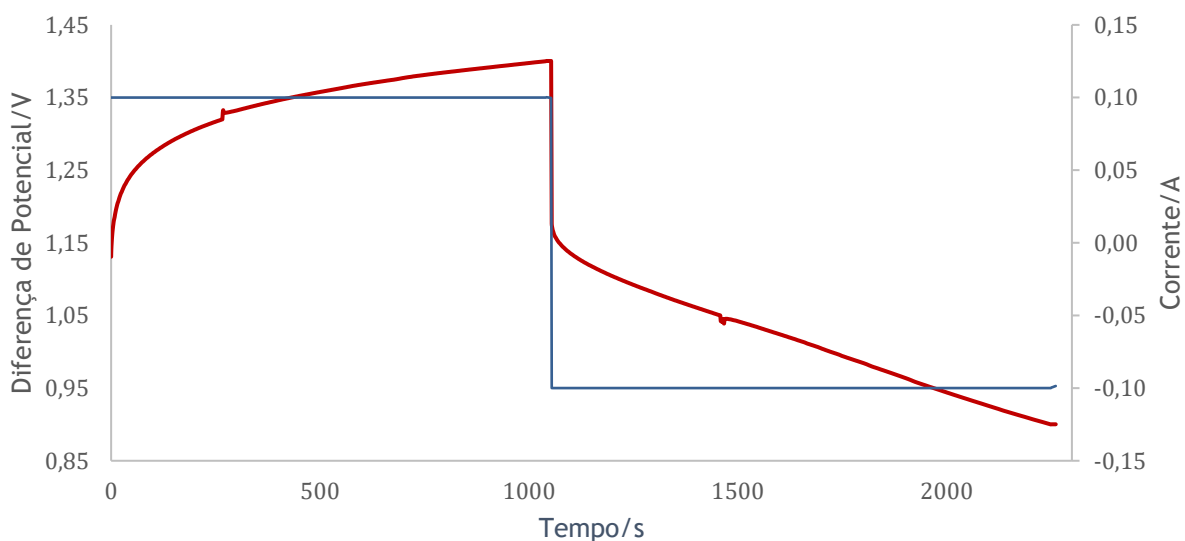


Figura 4.12 - Ciclo de carga e descarga da bateria Ni-MH plana de espessura reduzida - NiMHM#1

Através da análise da figura 4.6 verifica-se que a uma corrente constante de 0,45 A, o ciclo de carga e descarga da bateria NiCdA#1 demora aproximadamente 1600 s. Por outro lado, através da análise da figura 4.10 verifica-se que a uma corrente constante de 0,4 A, o ciclo de carga e descarga da bateria NiMHA#1 demora aproximadamente 10 000 s.

Analisando agora as figuras 4.8 e 4.12 constata-se que a uma corrente constante e inferior, de valor 0.1 A um ciclo de carga e descarga das baterias montadas, NiCdM#1 e NiMHM#1 demora aproximadamente 1600 s. Isto deve-se ao facto de, aquando da montagem das baterias nem todo o material presente nas baterias adquiridas ser reutilizado e, portanto, as baterias perdem capacidade quando comparadas com as baterias adquiridas. Por outro lado, durante a selagem das baterias não foi possível evitar o contacto com o O₂ presente na atmosfera que oxida o eléctrodo não oxidado e, por conseguinte, a bateria perde capacidade.

A capacidade de uma bateria é habitualmente medida em ampere-hora (Ah). Ah é integral da corrente de descarga que uma bateria em função do tempo^[28]. A corrente constante, a capacidade calcula-se, multiplicando a corrente de descarga pelo tempo de descarga^[29].

Assim, calculou-se a capacidade através da equação 15:

$$\text{Capacidade} = I_{\text{descarga}} \times t_{\text{descarga}} \quad (15)$$

Através da equação 15, obteve-se a capacidade das baterias remontadas e comparou-se com a capacidade das baterias originais. Assim, a capacidade das baterias adquiridas, NiCdA#1 e NiMHA#1 é de 95 mAh e 490 mAh, respetivamente. Por outro lado, a capacidade das baterias montadas, NiCdM#1 e NiMHM#1 é de 23 mAh e 32 mAh, respetivamente. Comparando os valores da capacidade obtidas verifica-se que as baterias montadas perdem capacidade quando comparadas com as baterias adquiridas, como já foi explicado anteriormente.

Através das figuras 4.5 à 4.12 verifica-se ainda que os ciclos de carga e descarga são constantes no tempo; observa-se a existência de quedas de potencial entre o período de carga e o período de descarga. Esta queda está relacionada com a diminuição da concentração dos reagentes - traduzida pela equação de Nernst, e com perdas óhmicas.

De modo a verificar se existe um melhoramento no desempenho da bateria montada realizou-se um teste, em que se fornecia maior pressão à bateria montada, figura 4.13.



Figura 4.13 - Suporte para a bateria montada experimentalmente

Os ciclos de carga e descarga obtidos estão presentes nas figuras 4.14 e 4.15.

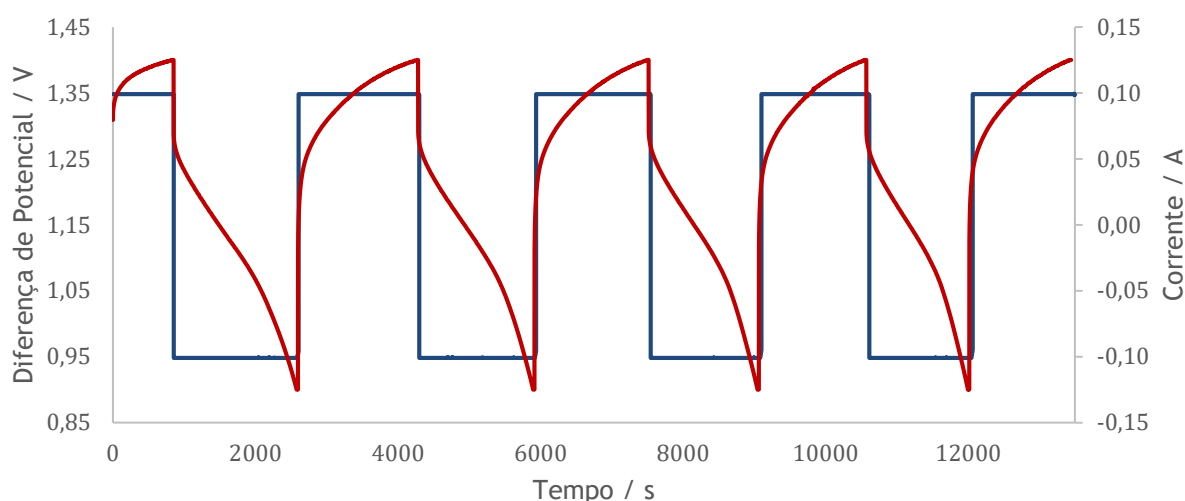


Figura 4.14 - Ciclos de carga e descarga da bateria Ni-Cd plana de espessura reduzida aplicando maior pressão - NiCdM#2

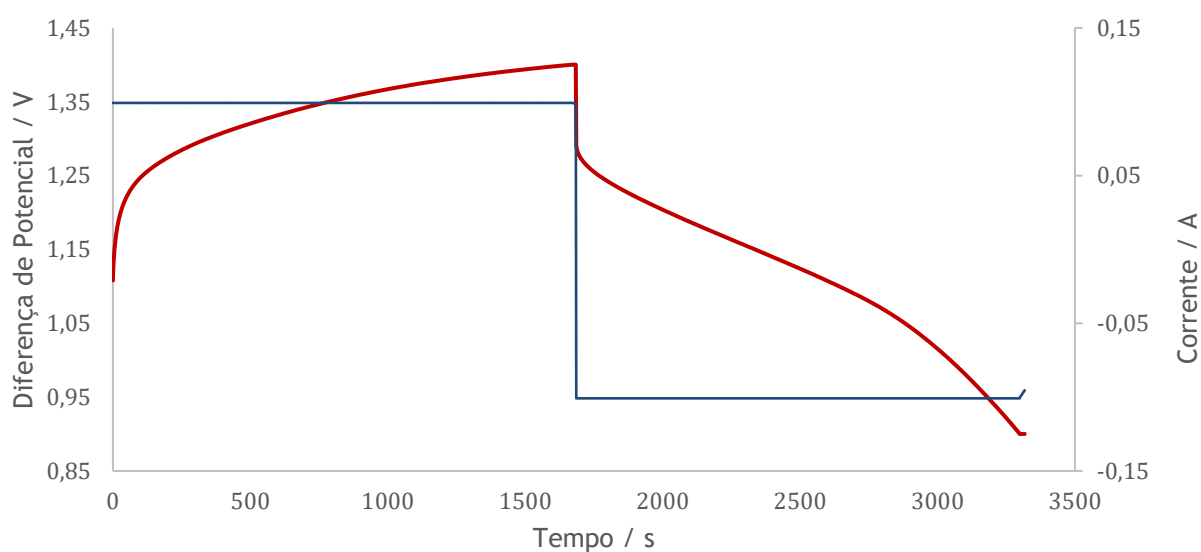


Figura 4.15 - Ciclo de carga e descarga da bateria Ni-Cd plana de espessura reduzida aplicando maior pressão - NiCdM#2

Aplicando maior pressão na bateria montada, ou seja, existindo um maior contacto entre os materiais ativos da bateria e, por conseguinte, uma menor distância a percorrer pelos iões durante as reações verifica-se uma melhoria significativa no desempenho da mesma. À mesma corrente de 0,1 A, a bateria NiCdM#2 demora cerca de 3400 s a completar o ciclo de carga e descarga, figura 4.15.

Portanto, conclui-se que quanto maior for o contacto eficiente entre os materiais ativos da bateria montada melhor será o seu desempenho.

4.3 Estudo do coletor de corrente

R. Alves ^[11] utilizou uma folha de alumínio como coletor de corrente aquando na preparação do laminado.

Portanto, inicialmente, seguiu-se o seu procedimento na montagem da bateria através do método experimental explicado no capítulo 3.1.2.

Verificou-se que a utilização de folha de alumínio como coletor de corrente não era recomendável, uma vez que ao longo do tempo esta corrói devido ao óxido de hidróxido de níquel presente no cátodo, como podemos verificar na figura 4.16.

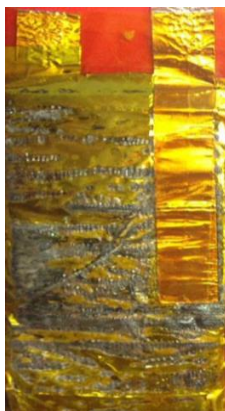


Figura 4.16 - Bateria montada com folha de alumínio como coletor de corrente

Assim decidiu-se alterar o coletor de corrente para uma placa de aço inoxidável de espessura reduzida e inferior a 1 mm, figura 4.17. Este coletor de corrente não apresentou nenhuma corrosão ao longo do tempo.



Figura 4.17 - Bateria montada com aço inoxidável como coletor de corrente

4.4 Prensagem do HPL com incorporação das baterias montadas

Por último, efetuou-se a prensagem dos laminados com a incorporação das baterias montadas e a incorporação das baterias de bolsa adquiridas.

Esta etapa é influenciada por vários fatores desde a temperatura e a pressão a que o HPL é sujeito na prensa de pratos quentes, a espessura das baterias montadas, a quantidade de papel *kraft* usado bem como a quantidade de papel *kraft* utilizado como reservatório da bateria e por último as condições ambientais.

A montagem do HPL com incorporação da bateria foi realizada de acordo com o método experimental explicado no subcapítulo 3.1.3.

Os resultados apresentados de seguida correspondem aos HPL que têm incorporadas as baterias montadas através do método experimental explicado no subcapítulo 3.1.2.

A figura 4.18, representa o primeiro HPL obtido na prensa de pratos quentes. Era constituído por 10 folhas de papel *kraft* das quais 4 foram recortadas constituindo o reservatório para a bateria, 1 folha de papel decorativo e foi incorporada uma bateria de 4 mm de espessura, NiCdM#1. Posteriormente, prensou-se o segundo HPL, figura 4.19, constituído por 20 folhas de papel *kraft* das quais 15 delas foram recortadas constituindo o reservatório para a bateria, 1 folha de papel decorativo e uma bateria de espessura semelhante à bateria incorporada anteriormente, NiMHM#1. A prensagem foi realizada a 140 °C e 90 bar durante 720 s.



Figura 4.18 - HPL com a bateria
NiCdM#1



Figura 4.19 - HPL com a bateria
NiMHM#1

Pela análise das figuras 4.18 e 4.19, verifica-se que as baterias rebentaram durante a prensagem devido ao excesso de pressão, o que provocou a migração do eletrólito pelas folhas de papel de *kraft*. Nenhum dos laminados apresentou potencial após a prensagem. Isto poderá ser justificado pela temperatura e pressão elevada do processo de produção do HPL.

De seguida, o terceiro laminado, figura 4.20, era constituído por 25 folhas de papel *kraft* das quais 10 delas foram recortadas constituindo o reservatório para a bateria, 1 folha de papel decorativo e uma bateria de espessura semelhante às baterias incorporadas anteriormente. A prensagem foi realizada a 130 °C e 50 bar durante 720 s.



Figura 4.20 - HPL com a
bateria NiMHM#2

Verifica-se que aplicado uma pressão menor, a bateria montada não rompe na prensa de pratos quentes. No entanto, o laminado não apresentava potencial após a prensagem e, portanto, através deste ensaio conclui-se que a pressão pode não ser um fator tão preponderante quando comparado com a temperatura.

Após a aquisição das baterias de bolsa, de espessura ultrafina descartou-se as baterias montadas uma vez que estas apresentavam espessuras elevadas quando comparadas com as baterias de bolsa adquiridas. Foram adquiridos 2 tipos de bateria de bolsa com diferentes tamanho e capacidade: uma com uma capacidade teórica de 65 mAh, espessura de 0,8 mm de valor e 0,8 x 35 x 59 mm (LiPouchA1#)e outra com uma capacidade teórica de 45 mAh, espessura de 0,55 mm de valor e 0,8 x 81 x 20 mm (LiPouchA2#).

Portanto, inicialmente obteve-se os ciclos de carga e descarga das baterias de bolsa através da estação eletroquímica (funcionalidade *batterycycling* do software Thales). Estes ciclos são realizados a corrente constante.

A figura 4.21 e 4.22 representam um ciclo de carga e descarga de uma bateria de bolsa LiPouchA1#1.

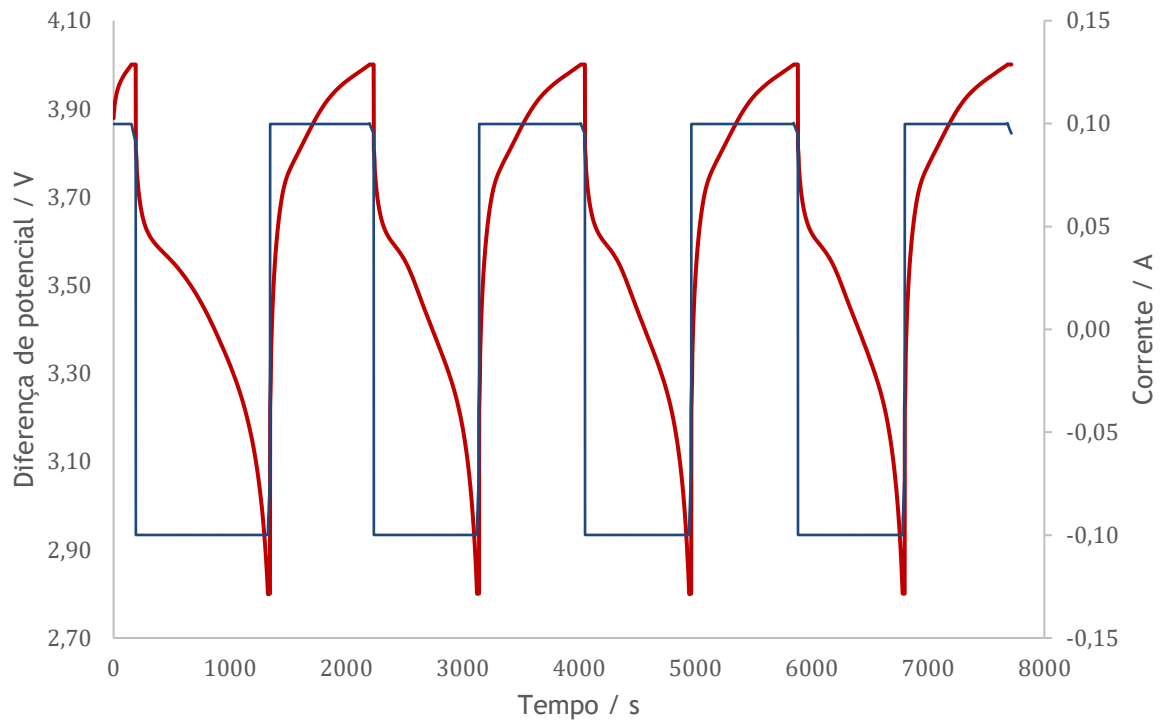


Figura 4.21 - Ciclos de carga e descarga de uma bateria de bolsa, LiPouchA1#1

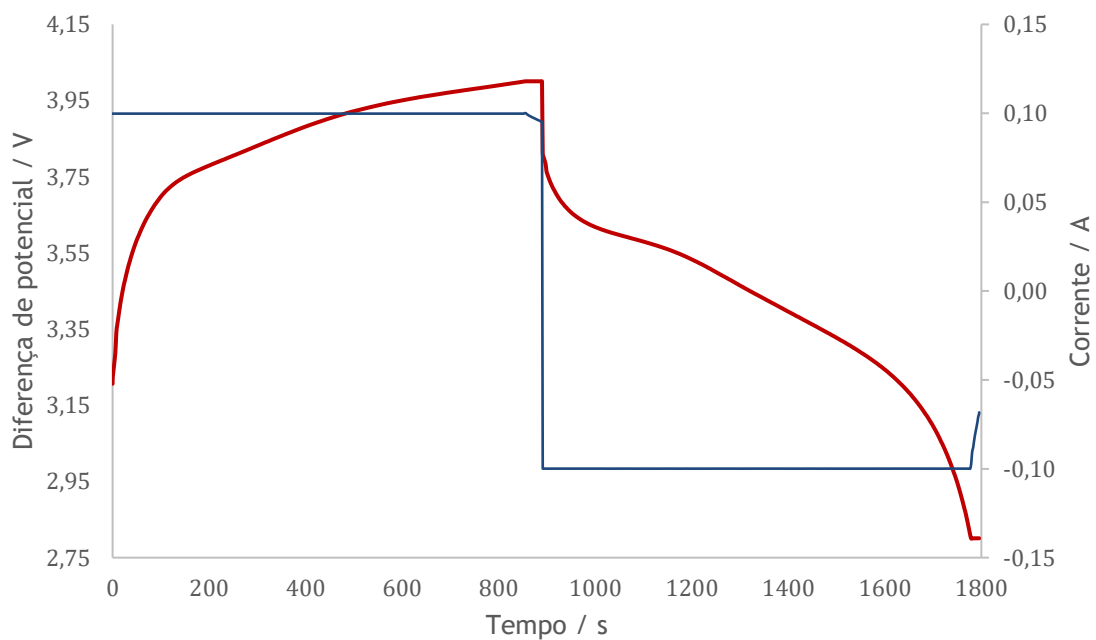


Figura 4.22 - Ciclo de carga e descarga de uma bateria de bolsa, LiPouchA1#1

Após obtenção do ciclo de carga e descarga da bateria de bolsa procedeu-se à sua incorporação no HPL, através do método experimental explicado no capítulo 3.1.3.

O primeiro HPL que possuía uma bateria de bolsa, figura 4.23, era constituído por 12 folhas de papel *kraft* em que apenas 2 folhas foram recortadas, 1 folha de papel decorativo. Foi prensado a 90 bar e a 140 °C.



Figura 4.23 - HPL constituído por uma bateria de bolsa - LiPouchA1#1

Este HPL não apresentou potencial, uma vez que a bateria rebentou devido à pequena quantidade de papel *kraft* e, por outro lado, devido à pressão excessiva do processo.

De seguida, optou-se por reduzir a pressão e a temperatura do processo. Por outro lado, aumentou-se a quantidade de papel de *kraft* utilizada e recortada, de modo a que a bateria de bolsa não sofra um excesso de pressão aquando da prensagem.

Assim, os laminados a seguir apresentados foram prensados a 50 bar e a 130 °C. A figura 4.24 representa um laminado constituído por 16 folhas de papel *kraft* das quais 4 folhas foram recortadas e 1 folha de papel decorativo, enquanto que a figura 4.25 representa um laminado constituído por 20 folhas de papel *kraft* das quais 12 folhas foram recortadas e 1 folha de papel decorativo.



Figura 4.24 - HPL constituído por uma bateria de bolsa - LiPouchA1#2

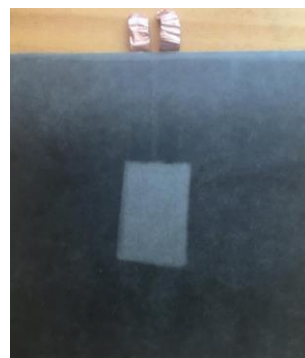


Figura 4.25 - HPL constituído por uma bateria de bolsa - LiPouchA1#3

Pela análise da figura 4.24 verifica-se uma pequena fuga de eletrólito, ou seja, a bateria rompeu e, portanto, não apresentou potencial. Por outro lado, o laminado representado na figura 4.25 apresentou potencial após a prensagem de valor igual a 3.7 V.

De seguida, com o recurso à estação eletroquímica obteve-se o ciclo de carga e descarga do laminado, figura 4.26, de modo a compará-lo com o ciclo de carga e descarga da bateria adquirida.

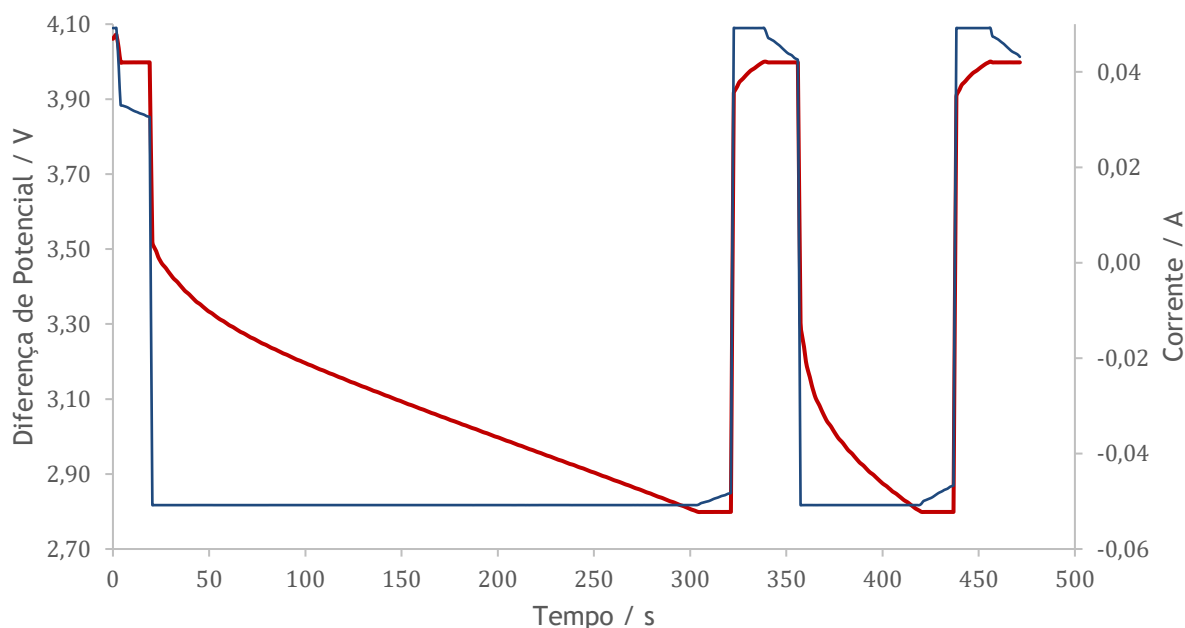


Figura 4.26 - Ciclo de carga e descarga do HPL constituído por LiPouchA1#3

Comparando a figura 4.26 com a figura 4.21 verifica-se que o tempo do ciclo de carga e descarga do laminado obtido é muito inferior ao do ciclo da bateria de bolsa adquirida. Portanto, a bateria perde capacidade após a sua incorporação no HPL.

De modo a avaliar a reprodutibilidade de resultados deste laminado, efetuou-se mais 2 HPL com a mesma constituição e à mesma temperatura e pressão, figura 4.27.



Figura 4.27 - HPL's obtidos para avaliar a reprodutibilidade do HPL constituído por LiPouchA1#3

Estes laminados apresentavam potencial após prensagem, mas não tinham corrente. Um dos ciclos de carga e descarga dos HPL's obtidos, a corrente constante de valor 0,1 A encontrasse representado na figura 4.28.

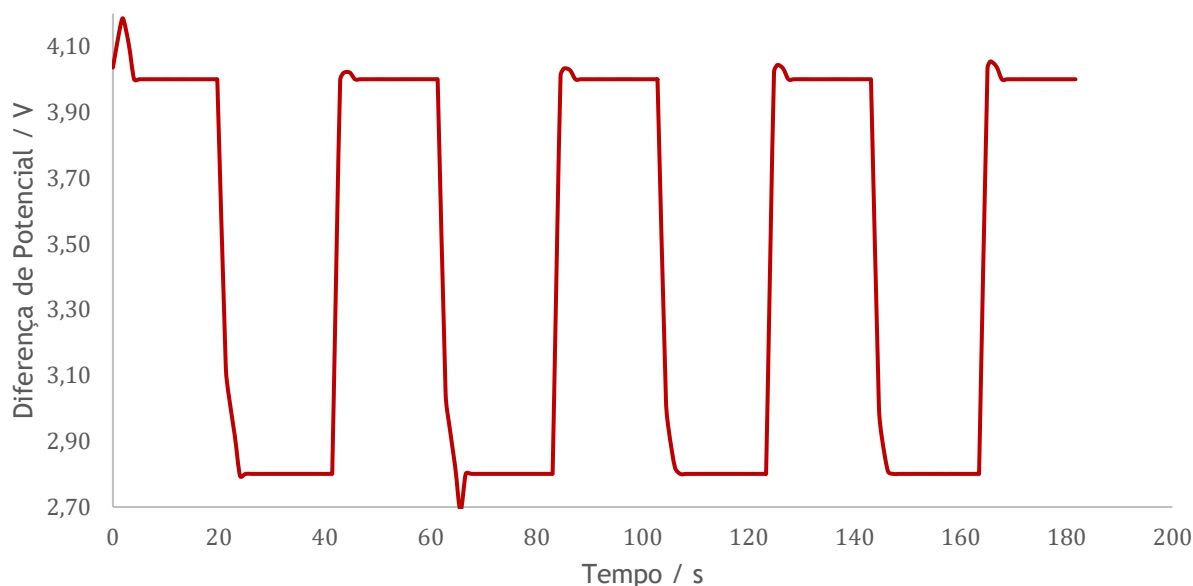


Figura 4.28 - Ciclos de carga e descarga de um dos HPL's obtidos

Analisando a figura 4.28 verifica-se que os laminados não apresentavam corrente, uma vez que os laminados não permitiram a carga. Isto poderá ter acontecido devido às condições de temperatura do laboratório; estes HPL's foram preparados quando a temperatura ambiente era de aproximadamente 40 °C, o que influenciou a temperatura da água de arrefecimento dos HPL. Assim, o tempo de arrefecimento dos HPL's foi superior a 30 minutos, enquanto que numa prensagem normal este é cerca de 8 minutos.

4.5 Estudo da influência da Temperatura na bateria de bolsa

De modo a determinar a influência da temperatura no desempenho da bateria de bolsa efetuou-se um ensaio em que se mantinha a bateria numa estufa durante 12 minutos a uma determinada temperatura e posteriormente, a bateria arrefecia durante 8 minutos dentro de uma caixa à temperatura ambiente, e por fim verificou-se quanto tempo a bateria demorava a efetuar o ciclo de carga e de descarga.

A tabela 4, representa os ensaios de temperatura efetuado de modo a descobrir qual a temperatura máxima para que a bateria não perca eficiência.

Tabela 4 - Ensaios da influência da temperatura no desempenho da *bateria de bolsa*

Temperatura / °C	Tempo de carga / min	Tempo de descarga / min	Potencial / V
80	35	35	3,094
90	38	38	3,091
100	40	40	3,088
110	39	39	3,094
120	1	1	3,095

Através da análise da tabela 4, verifica-se que na gama de temperaturas entre 80 °C e 110 °C o desempenho da bateria de bolsa é semelhante e, portanto, a bateria apresenta potencial e corrente, efetuando assim, a carga e a descarga a uma corrente constante de 50 mA.

Por outro lado, verificou-se que a bateria apresentava potencial à temperatura de 120 °C mas não corrente, uma vez que não efetuou a carga e a descarga. Por isso, pode concluir-se que a temperatura do processo para a incorporação da bateria num laminado deverá ser uma temperatura inferior a 120 °C.

4.6 Prova de conceito obtida

Posteriormente, efetuou-se um ensaio à temperatura de 110 °C uma vez que à temperatura de 120 °C a bateria não efetuava carga nem descarga.

As figuras 4.29 e 4.30 representam HPL constituídos por 20 folhas de papel *kraft* das quais 8 foram recortadas e 1 folha de papel decorativo, prensados a 40 bar e 60 bar, respetivamente, durante 20 minutos.



Figura 4.29 - HPL obtido a 40 bar - LiPouchA2#1



Figura 4.30 - HPL obtido a 60 bar - LiPouchA2#2

O HPL obtido a 40 bar, figura 4.29, apresentou potencial no final da prensagem de valor de 3,12 V, mas não apresentou corrente uma vez que não efetuou a carga e a descarga. Por outro lado, o HPL obtido a 60 bar, figura 4.30, apresentou potencial e corrente, e os ciclos de carga e descarga deste laminado encontram-se representados na figura 4.31 e 4.32.

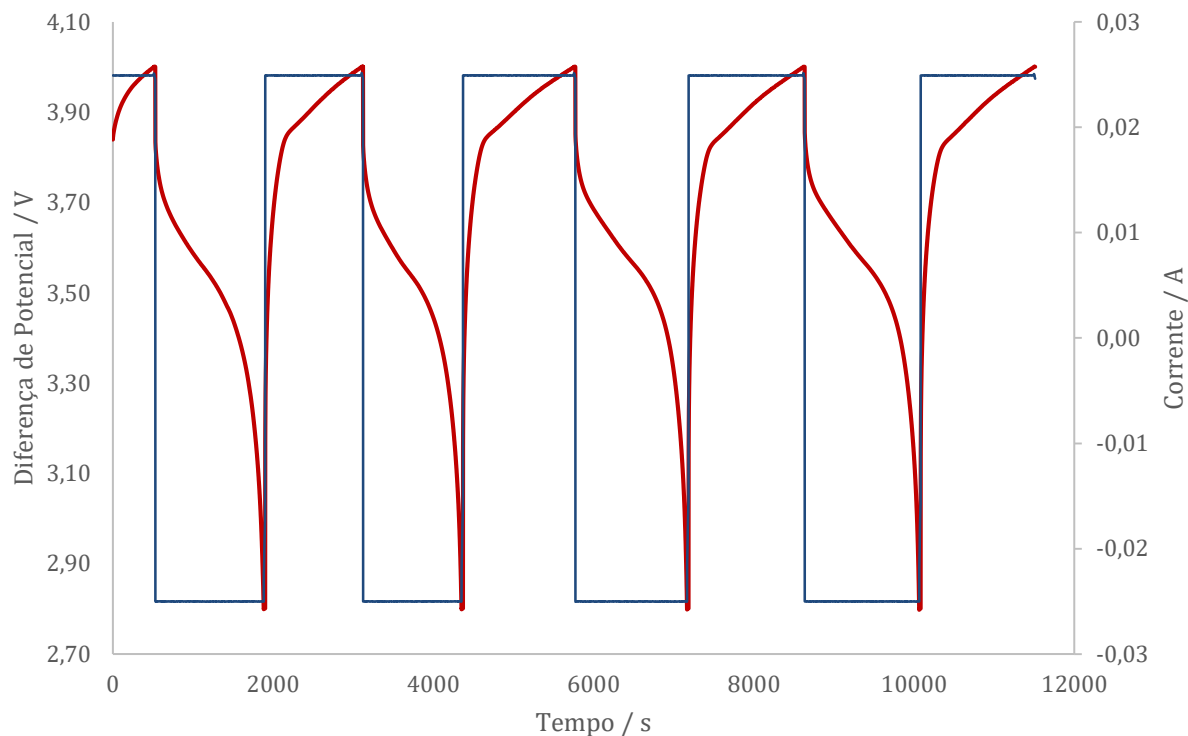


Figura 4.31 - Ciclos de carga e descarga do HPL obtido a 60 bar

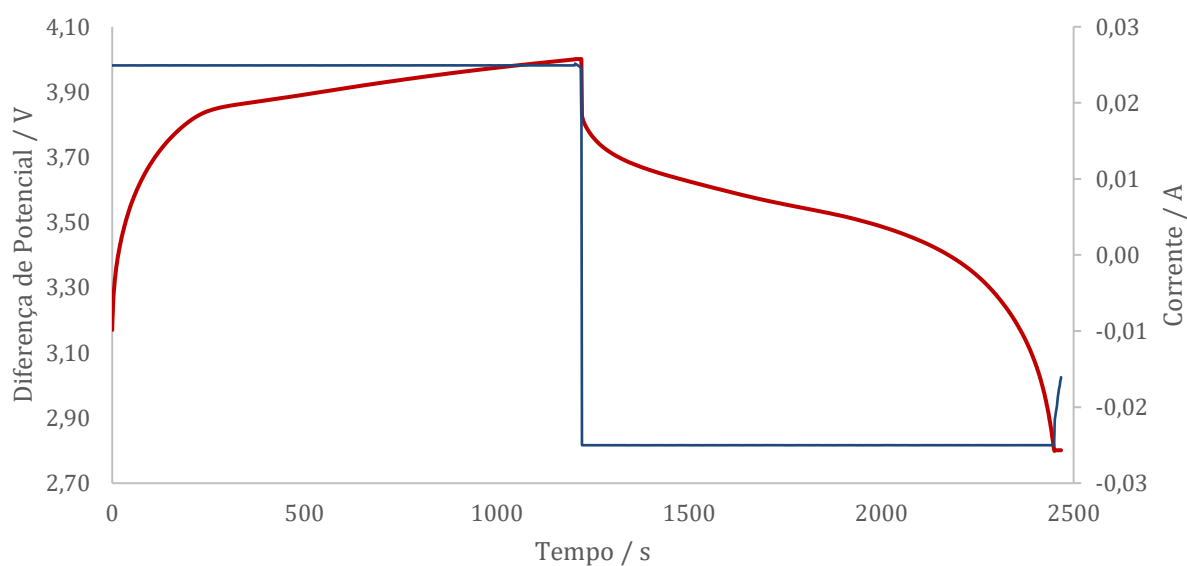


Figura 4.32 - Ciclo de carga e descarga do HPL obtido a 60 bar

Através da análise da figura 4.32 verifica-se que a uma corrente constante de 0,025 A, o ciclo de carga e descarga obtido pelo HPL prensado a 60 bar e a 110 °C demora aproximadamente 2500 s. A partir da figura 4.31 observa-se que os ciclos de carga e descarga obtidos são constantes no tempo, o que leva a concluir que as condições de prensagem do HPL não danificaram a bateria e, portanto, esta pode efetuar cargas e descargas sucessivas ao longo do tempo.

O HPL obtido a 60 bar e a 110 °C é a prova de conceito desta dissertação. Este HPL é capaz de armazenar energia esta energia é facilmente convertível em energia elétrica como podemos verificar através da carga e da descarga apresentada na figura 4.31.

5 Conclusões

No decorrer deste projeto procedeu-se ao desenvolvimento de um termolaminado de alta pressão (HPL) capaz de armazenar energia a partir da incorporação de baterias recarregáveis. Assim, para além da bateria recarregável, o termolaminado desenvolvido é constituído por papel *kraft* impregnado com resinas fenólicas e por papel decorativo, impregnado com resinas melamínicas. O processo de produção de termolaminados compreende a aplicação de pressões e temperaturas elevadas que levam à rutura e perda de desempenho das baterias incorporadas. Assim, a estratégia desenvolvida para a introdução da bateria no HPL teve em conta fatores como a espessura da bateria montada, a estabilidade da bateria em contacto com o ar bem como a quantidade de papel *kraft* utilizada para conferir rigidez ao HPL e para usar como reservatório para a bateria.

Foram testados 3 tipos de baterias diferentes: bateria de Ni-Cd, Ni-MH e as baterias de bolsa. A bateria Ni-MH foi selecionada devido à sua baixa toxicidade, por incorporar componentes não perigosos e por possuir uma densidade de energia relativamente elevada. Por outro lado, a bateria Ni-Cd apesar de incorporar componentes tóxicos ou perigosos é relativamente mais estável que a bateria Ni-MH em contacto com o oxigénio. A bateria De iões de lítio foi também selecionada devido ao facto de terem sido as únicas encontradas com formato de bolsa, com espessuras ultrafinas (0,55 mm), e também por possuírem uma elevada densidade energética e volumétrica quando comparadas com as baterias de Ni-MH e Ni-Cd.

A prova de conceito obtida é constituída por 20 folhas de papel *kraft*, das quais 8 foram utilizadas como reservatório para a bateria, prensadas a 60 bar, à temperatura de 110 °C durante 20 minutos incorporando este uma bateria de bolsa, LiPouchA2#2. A obtenção da prova de conceito apresenta potencial e corrente o que demonstra a possibilidade da incorporação de baterias recarregáveis em HPL.

Assim os resultados desta dissertação apresentam um novo ponto de partida para o desenvolvimento de um HPL capaz de armazenar energia facilmente convertível em eletricidade. Os resultados são promissores e demostram o potencial deste HPL, tornando a otimização do seu processo uma mais valia para a SIR.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

O objetivo principal deste projeto passava pelo desenvolvimento de um HPL que possuísse propriedades eletroquímicas de armazenamento de energia. Esse objetivo foi concretizado com sucesso a partir da incorporação de baterias de bolsa na estrutura do laminado, apresentando assim uma nova prova de conceito para este projeto.

6.2 Limitações e Trabalho Futuro

Uma das principais limitações deste trabalho foi o tempo de espera da matéria-prima, uma vez que estas não se encontram sempre disponíveis em loja, fora todas as burocracias que quer a faculdade e a empresa têm de ultrapassar para a aquisição de baterias a novos fornecedores.

A remontagem das baterias a partir das baterias adquiridas foi uma dificuldade, uma vez que esta deve ser realizada num ambiente controlado, como por exemplo a câmara de luvas que nem sempre estava disponível. Por outro lado, após a montagem das baterias é necessário retirá-la da câmara de luvas e, portanto, apesar da selagem da mesma, esta fica exposta ao O_2 presente na atmosfera.

Apesar da obtenção de uma prova de conceito, ainda existem vários aspetos a estudar de forma a tornar possível a incorporação de uma bateria recarregável na estrutura do HPL e, como resultado, o HPL possuir a capacidade de armazenamento de energia facilmente convertível em eletricidade. Para a reconstrução das baterias, é necessário obter um coletor de corrente de espessura inferior a 1 mm e que não seja oxidado pelos materiais ativos da bateria. Outro aspeto importante é a selagem da bateria. Esta deve ser eficaz, de modo a que a bateria remontada não seja exposta ao O_2 existente na atmosfera. Por outro lado, a aquisição de novas tecnologias de lítio que possuem eletrólito sólido em vez de líquido é uma alternativa a ser estudada, uma vez que a evaporação do eletrólito é uma dificuldade.

Como foi possível verificar, a temperatura do processo afeta significativamente o desempenho das baterias. Dito isto, seria crucial desenvolver resinas mais ativas e que fundissem a temperaturas mais baixas de modo a que as baterias incorporadas não sejam expostas a temperaturas elevadas durante o processamento do HPL.

Por outro lado, é importante otimizar a prova de conceito obtida com o processo produtivo da SIR, de modo a efetuar-se a sua prensagem a 90 bar e a 140 °C, como requerem as prensas utilizadas a nível industrial na SIR. É, por isso, importante existir uma continuidade neste

estudo, por forma a repetir e validar a reprodutibilidade dos resultados obtidos de modo a garantir que as conclusões retiradas vão ao encontro com o que se verifica experimentalmente.

É também essencial dar início a um estudo de implementação industrial, apurando-se necessidades, tanto a nível de equipamentos, espaço e mão-de-obra, mas também de obtenção de matéria-prima.

Finalmente, e como perspetiva futura, aconselha-se o teste do protótipo criado, junto de potenciais clientes, por forma a licenciar ou até mesmo patentear os métodos empregues

6.3 Apreciação Final

De um modo geral, considera-se todo o trabalho desenvolvido bastante positivo, tanto a nível académico como pessoal, uma vez que permitiu não só uma primeira experiência em ambiente empresarial, mas também o ganho de autonomia e responsabilidade que este tipo de projetos exige. Esteve sempre disponível uma rede alargada de apoio que me demonstrou a importância do trabalho de equipa e da motivação para fazer sempre mais e melhor.

Este projeto foi realizado com sucesso, pois forneceu um novo ponto de partida para o desenvolvimento de um novo HPL que possua capacidade de armazenamento de energia, com resultados aceitáveis e com ideias claras dos problemas que surgiram e que podem surgir aquando do seu processamento.

Referências

- [1] Sonae, “Onde Estamos.” Disponível em: <https://www.sonae.pt/pt/sonae/onde-estamos/>. Acedido a 06 de Fevereiro de 2018.
- [2] Sonae, “O Grupo e os Negócios.”. Disponível em: <https://www.sonae.pt/pt/sonae/o-grupo-e-os-negocios/>. Acedido a 06 de Fevereiro de 2018.
- [3] Sonae Indústria de Revestimentos, “História.” Disponível em: <http://www.sonaeindustria.com/page.php?ctx=2,0,6>. Acedido a 06 de Fevereiro de 2018.
- [4] I. Ungar and H. Scher, Texturizing Film for the Manufacture of High Pressure Laminates. US Patente 3,761,338, 1973.
- [5] S. Magina, et al, Fluorinated polyhedral oligomeric silsesquioxane nanoparticles to boost the dirt repellence of high pressure laminates. Chemical Engineering Journal, 2016. vol. 301.
- [6] GLOBALDIS, HPL interior. Disponível em: <http://www.globaldis.pt/pt/produtos/24-termolaminado/61-hpl-interior>. Acedido a 08 de Março de 2018.
- [7] Panel Processing, High Pressure Laminates (HPL). Disponível em: <http://www.panel.com/products/high-pressure-laminates/>. Acedido a 08 de Março de 2018
- [8] L. Gonçalves, Otimização de compactos HPL usando borracha reciclada, Universidade do Porto, 2018.
- [9] D. Linden and T. B. Reddy, Handbook of batteries. 2004.
- [10] “Components of Cells and Batteries.” Disponível em: <http://depts.washington.edu/matseed/batteries/MSE/components.html>. Acedido a 15 de Março de 2018.
- [11] R. Alves, Desenvolvimento de um laminado com propriedades eletroquímicas e capacidade de armazenamento de energia. Universidade do Porto, 2017.
- [12] Ikea, Rallen. Disponível em: <https://www.ikea.com/pt/pt/catalog/products/90360210/>. Acedido a 22 de Maio de 2018.
- [13] Ikea, Nordmarke. Disponível em: <https://www.ikea.com/pt/pt/catalog/products/40381979/>. Acedido a 22 de Maio de 2018.

- [14] Y. Azancot, et al, Non Resonant Inductive Power Transmission System and Method. US Patent 8,188,619 B2, 2012.
- [15] K. Hatanaka et al., Power Transmission of a Desk With a Cord-Free Power Supply. vol. 38, no. 5, pp. 3329-3331, 2002.
- [16] M. E. Cox and M. E. Cox, Glove Box Chamber. US Patent 3,907,389,1975.
- [17] GP, Nickel Cadmium - Tecnical Handbook. 2002. Disponível em: <http://www.scarpaz.com/Attic/Documents/NiCd.pdf>.
- [18] Alcad, Technical manual - Ultra.low maintenance batteries. Disponível em: <http://www.alcad.com/Products/Ni-Cd-maintenance-free-and-low-maintenance-batteries/Vantage-Range-Ultra-low-maintenance>.
- [19] Energizer, Nickel Metal Hydride (NiMH) - Handbook and Aplication manual. 2018. Disponível em: http://data.energizer.com/pdfs/nickelmetalhydride_appman.pdf.
- [20] Panasonic, Ni-MH Handbook -Industrial Batteries. 2014. Disponível em: https://eu.industrial.panasonic.com/sites/default/pidseu/files/downloads/files/ni-mh-handbook-2014_interactive.pdf.
- [21] R. Ambrósio and E. Ticianelli, Baterias de Níquel-Hidreto Metélico, uma alternativa para as baterias de Níquel-Cádmio. vol. 24, no. 2, pp. 243-246, 2001.
- [22] J. Kopera, Inside the Nickel Metal Hydride Battery. 2004.
- [23] D. Deng, “Li-ion batteries: basics, progress, and challenges,” Energy Science. Engineering.vol.3, pp. 385-418, 2015.
- [24] Lithium Ion Rechargeable Batteries - Technical Handbook. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Prototyping/Lithium%20Ion%20Battery%20MSDS.pdf>.
- [25] Panasonic Batteries,Lithium Ion Batteries - Technical Handbook. 1999. Disponível em: https://eu.industrial.panasonic.com/sites/default/pidseu/files/downloads/files/id_lithium_1003_e.pdf.
- [26] Sanyo, Lithium-Polymer (Li-Po or Li-Poly) Battery Characteristics. 2016. Disponível em: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/battery-li-poly.htm>. Acedido a 25 de Junho de 2018.
- [27] Battery University, BU-409: Charging Lithium-ion. Disponível em: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging_lithium_ion_batteries. Acedido a 30 de Julho de 2018.

Anexo 1 Bateria Ni-Cd

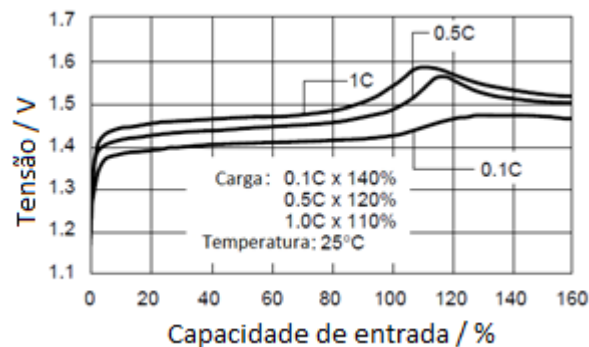


Figura 7.1 - Características de carga (adaptado de (GP, 2002))

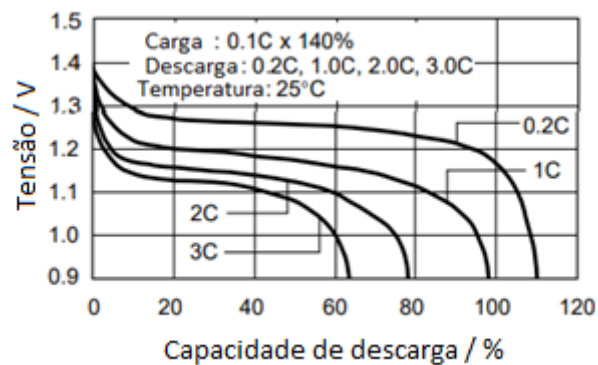


Figura 7.2 - Características de descarga (adaptado de (GP, 2002))

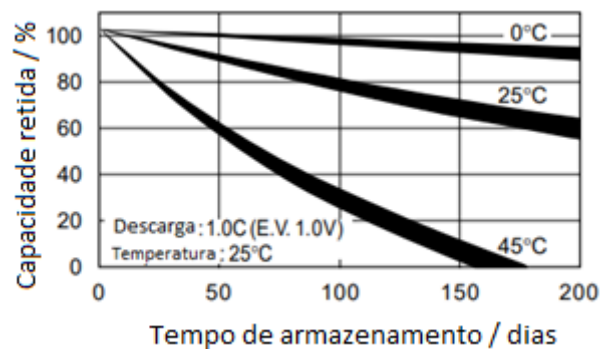


Figura 7.3 - Características de armazenamento (adaptado de (GP, 2002))

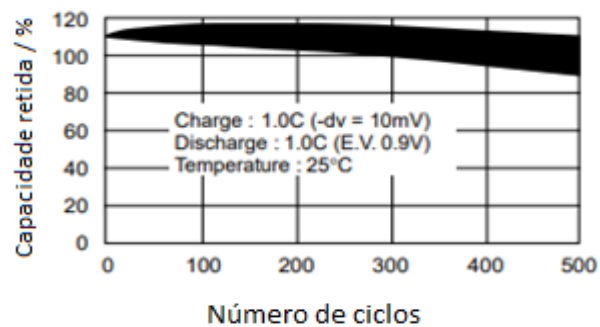


Figura 7.4 - Características do Ciclo de Vida (adaptado de (GP, 2002))

Anexo 2 Bateria Ni-MH

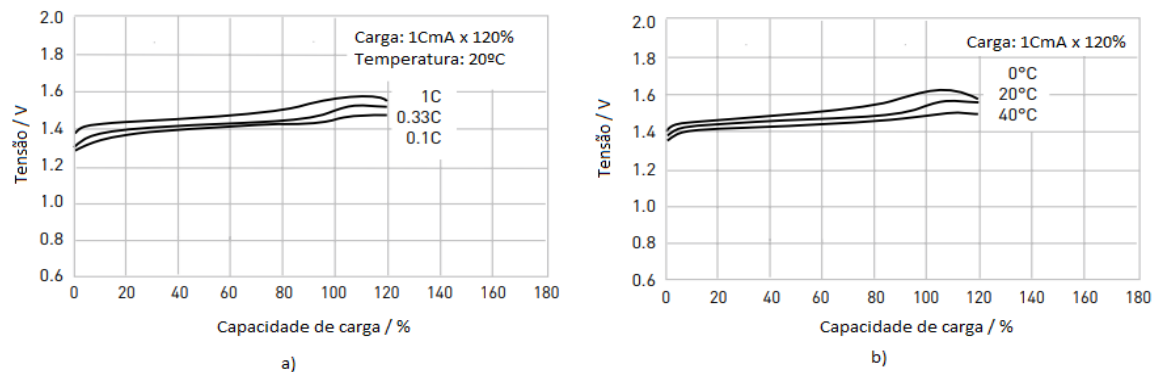


Figura 8.1 - Características de carga (adaptado de (Panasonic, 2014))

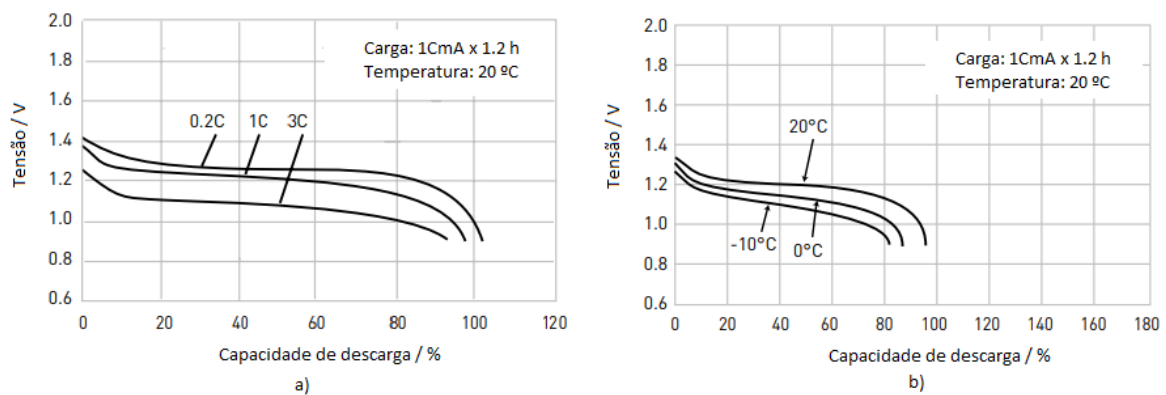


Figura 8.2 - Características de descarga (adaptado de (Panasonic, 2014))

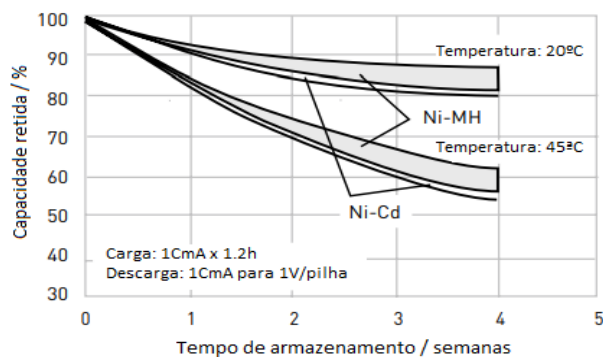


Figura 8.3 - Características de armazenamento (adaptado de (Panasonic, 2014))

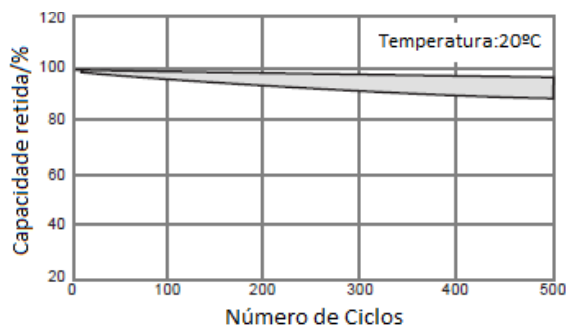


Figura 8.4 - Características do Ciclo de vida (adaptado de (Panasonic, 2014))

Anexo 3 Bateria De íões de lítio

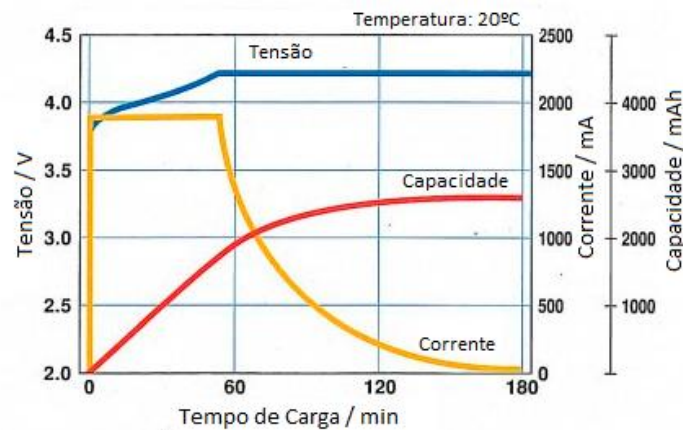
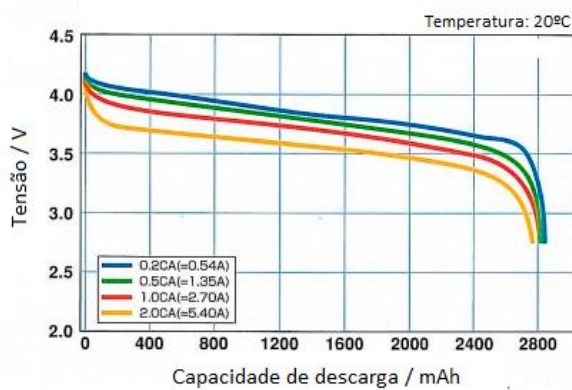
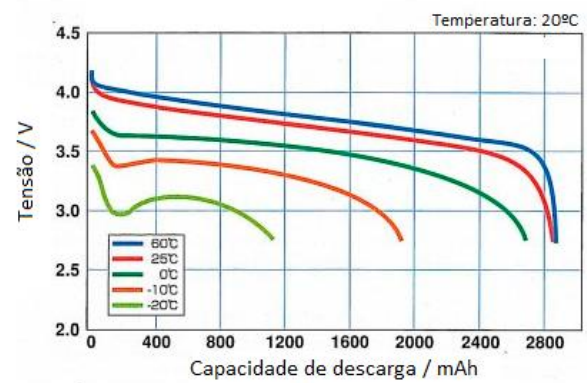


Figura 9.1 - Características de carga (adaptado de (Sanyo, 2016))



a)



b)

Figura 9.2 - Características de descarga (adaptado de (Sanyo, 2016))

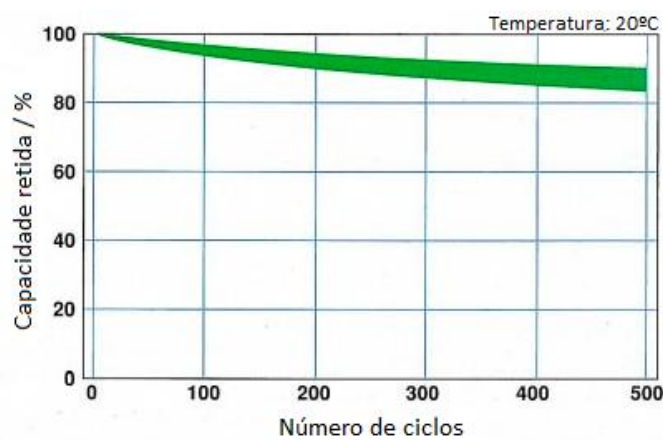


Figura 9.3 - Ciclo de vida de uma bateria de De íões de lítio (adaptado de (Sanyo, 2016))