NOTA DE APLICAÇÃO · EDIÇÃO BRASILEIRA

Fontes de alimentação para sistemas de energia a hidrogênio

Da eletrólise à célula a combustível — o papel das famílias MEAN WELL na cadeia de conversão de potência

Do lado elétrico, um sistema de energia a hidrogênio se divide em dois blocos que fazem o trabalho oposto: a eletrólise consome energia elétrica para produzir hidrogênio, e a célula a combustível consome hidrogênio para gerar energia elétrica. Esta nota traduz e amplia o documento de introdução da MEAN WELL sobre o tema, mostrando onde cada família de fonte se encaixa em cada bloco — e declarando, sem rodeio, o que a informação pública consultada ainda não cobre.

ELETRÓLISE — SISTEMA

até 360 kW

Configuração centralizada (3+N), entrada trifásica, série SHP-30K + CMU2 + rack de 19".

CÉLULA A COMBUSTÍVEL

250–1.500 Vcc

Faixa de entrada CC do conversor DDRH-240, dimensionada para acompanhar a tensão variável do stack ao longo da vida útil.

CAPACIDADE DECLARADA

510 kW

Capacidade máxima citada pelo fabricante para os produtos CA-CC modulares e o sistema centralizado 3+N aplicados à eletrólise.

CÓDIGO	NA-H2-BR
REVISÃO	01
EMISSÃO	09/2026
IDIOMA	Português (BR)
BASE	Nota do fabricante. Traduzida e ampliada a partir de *Power Supplies Introduction for Hydrogen Energy System*, Mean Well Technical Service Center / Europe Office (EUTS@meanwell.eu), com dados de catálogo público acrescentados onde indicado no texto.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

Sumário

01 **O hidrogênio como vetor de energia**
Cinza, azul e verde · duas rotas de produção · onde entra a fonte de alimentação

02 **Eletrólise: as quatro tecnologias e a tensão do stack**
PEM-EL, A-EL, AEM-EL, HT-EL · por que a tensão do sistema é sempre um projeto sob medida

03 **Célula a combustível: como ela gera energia**
O stack, a curva de polarização, os quatro tipos de célula · comparativo entre fabricantes

04 **Arquitetura do sistema e o papel da fonte MEAN WELL**
O lado da eletrólise e o lado da célula a combustível · o que cada aplicação exige da fonte

05 **Fontes para eletrólise: modular e centralizada**
DPU-3200 e PHP-3500 · NCP-3200/SHP-30K com DHP-1UT-B(HV) e CMU2 · monofásico × trifásico

06 **Controle programável da eletrólise**
Tensão e corrente programáveis (PV/PC) · a malha que acompanha a reação do eletrolisador

07 **Conversão de potência para a célula a combustível**
DDRH e SD para a carga · o NTN-5K bidirecional para armazenamento

08 **Segurança em atmosfera de hidrogênio**
O que os documentos consultados NÃO declaram — área classificada, ATEX, IECEx

09 **Armadilhas de especificação**
Os oito enganos que aparecem em projeto

10 **Aplicações típicas**

11 **Resumo e suporte no Brasil**

12 **Referências**

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 1

O hidrogênio como vetor de energia

O aquecimento global e os fenômenos climáticos extremos tornaram a emissão líquida zero de carbono uma meta declarada de países em todo o mundo. Entre as alternativas aos combustíveis fósseis, a energia a hidrogênio atraiu atenção ampla — principalmente o hidrogênio verde, com emissão de carbono próxima de zero, que tem oportunidades relevantes de aplicação em energia renovável, indústria e transporte. Por isso a energia a hidrogênio é hoje considerada uma das soluções-chave para o problema energético.

1.1 Cinza, azul e verde: a mesma molécula, rotas diferentes

O átomo de hidrogênio está presente em compostos comuns como água, metano e etanol. Atualmente há duas tecnologias de produção: **eletrólise** e **reforma a vapor**. Conforme o método de produção e a emissão de carbono associada, o hidrogênio se classifica em três categorias:

CLASSIFICAÇÃO DO HIDROGÊNIO PELA ROTA DE PRODUÇÃO

TIPO	MATÉRIA-PRIMA / PROCESSO	EMISSÃO DE CO_2
Cinza	Combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural), convertidos por reação química. É a rota mais comum.	Alta — o custo de produção é relativamente baixo, mas a emissão é significativa.
Azul	Mesma base fóssil do hidrogênio cinza, incorporando processos de captura de carbono.	Reduzida — a captura e o armazenamento do CO_2 gerado abatem parte da emissão.
Verde	Energia renovável, usada para eletrolisar água.	Quase nula — é a rota ambientalmente mais limpa, e a que justifica o interesse crescente no tema.

1.2 As duas metades do sistema, do lado elétrico

O campo da energia a hidrogênio se divide em produção de hidrogênio por eletrólise e aplicações de célula a combustível. O hidrogênio produzido por eletrólise é transportado — por tanque de armazenamento ou por duto — até o local de aplicação; hoje, o uso mais difundido é a célula a combustível, que converte esse hidrogênio de volta em energia elétrica.

Essas duas metades exigem da fonte de alimentação papéis opostos:

CONSOME ENERGIA

Eletrólise

A fonte entrega energia elétrica ao eletrolisador, que a converte em hidrogênio e oxigênio a partir da água.

GERA ENERGIA

Célula a combustível

O stack gera energia elétrica a partir do hidrogênio armazenado; a fonte/conversor recebe essa energia e a condiciona para o uso.

1.3 O que esta nota cobre — e o que não cobre

> AVISO — ESCOPO
>
> Esta nota trata do lado elétrico do sistema: a fonte de alimentação MEAN WELL e a interface dela com o eletrolisador ou com o stack da célula a combustível. A engenharia do processo químico em si — o eletrolisador, o stack, o armazenamento e o transporte de hidrogênio — é escopo do fabricante desse

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

> equipamento, não da MEAN WELL, e não é aprofundada aqui além do que o documento-fonte descreve para dar contexto ao dimensionamento elétrico.

Os Capítulos 2 e 3 cobrem os fundamentos de eletrólise e célula a combustível — o suficiente para entender o que a fonte de alimentação precisa entregar em cada lado. Os Capítulos 4 a 7 tratam da arquitetura do sistema e das famílias MEAN WELL citadas pelo fabricante para cada aplicação. O Capítulo 8 trata especificamente de segurança em atmosfera de hidrogênio — e do que os documentos consultados não confirmam sobre o tema.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 2

Eletrólise: as quatro tecnologias e a tensão do stack

As tecnologias de produção de hidrogênio por eletrólise mais usadas atualmente são quatro [1-2]. Todas eletrolisam água, mas diferem no eletrólito, na temperatura de operação e na faixa de tensão de célula.

AS QUATRO TECNOLOGIAS DE ELETRÓLISE

TECNOLOGIA	SIGLA	ELETRÓLITO / PRINCÍPIO	TENSÃO DE CÉLULA
Membrana de troca de prótons	PEM-EL	Membrana polimérica de ácido sólido. Água é eletrolisada no ânodo em íons de hidrogênio e oxigênio, liberando elétrons; os íons H^+ migram ao cátodo pela membrana e se combinam com elétrons do circuito externo para gerar H_2. Alta eficiência de eletrólise, por causa da alta densidade de corrente.	1,8 a 2,5 Vcc
Alcalina	A-EL	Hidróxido de potássio como eletrólito. Íons hidróxido migram ao ânodo pela membrana porosa condutora e sofrem oxidação, liberando oxigênio; a água é eletrolisada em íons H^+ e OH^- no cátodo, que aceita elétrons para liberar hidrogênio. Hoje, é a tecnologia mais usada em sistemas de produção de hidrogênio em larga escala.	1,4 a 3,0 Vcc
Membrana de troca aniônica	AEM-EL	Combina o baixo custo da alcalina com a simplicidade e a eficiência da PEM. Usa catalisadores sem metal nobre e componentes sem titânio, e pode operar com diferença de pressão como a PEM. Tem baixa condutividade, cinética catalítica lenta e estrutura de eletrodo pobre, o que afeta seu desempenho.	1,4 a 2,0 Vcc
Óxido sólido, alta temperatura	HT-EL	Materiais cerâmicos condutores de íons de oxigênio como eletrólito. A água entra na forma de vapor e é eletrolisada em íons H^+ e O^{2-} no cátodo; os íons H^+ aceitam elétrons do circuito externo para gerar hidrogênio. Opera em ambiente de alta temperatura (700 a 1.000 °C).	1,0 a 1,5 Vcc

2.1 Por que a tensão do sistema não é um número de catálogo

Atualmente, os módulos de stack eletrolítico são majoritariamente customizados, e a tendência é de desenvolvimento voltado a potências cada vez maiores. Quanto maior o comprimento do stack — mais células em série —, maior a tensão exigida; quanto mais stacks em paralelo e maior a área de superfície, maior a corrente exigida para a eletrólise.

O exemplo do fabricante

Se a tensão de uma célula é 2 Vcc e 48 células são conectadas em série para formar um stack, o resultado é um stack de 96 Vcc — o que significa que uma fonte de alimentação de 96 Vcc é exigida para essa eletrólise. Esse número não é um padrão de indústria: é consequência direta de como aquele stack específico foi projetado.

CUIDADO

Não existe uma "tensão padrão" de eletrolisador. A tensão e a corrente de projeto da fonte de alimentação dependem inteiramente do arranjo de células do stack do cliente — número de células em série (tensão) e número de stacks em paralelo e área de superfície (corrente). É por isso que a MEAN WELL declara, como característica central de suas fontes para este mercado, ter um único modelo com múltiplas opções de tensão de saída em faixa larga (Capítulo 5) — a variação de projeto do lado do eletrolisador é a regra, não a exceção.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 3

Célula a combustível: como ela gera energia

O hidrogênio produzido por eletrólise é transportado por tanque de armazenamento ou por duto até o local de aplicação. Hoje, a aplicação mais difundida é a célula a combustível. O stack de célula a combustível é composto de múltiplas placas e membranas: ao receber hidrogênio e oxigênio, ele converte energia química em energia elétrica para uso.

3.1 Do stack ao uso: tensão baixa, empilhamento alto

Uma célula a combustível produz uma tensão típica em torno de 1 Vcc. Empilhar essas células cria uma tensão utilizável mais alta — hoje, os stacks de célula a combustível são majoritariamente customizados para cada aplicação. Os tipos de célula a combustível incluem célula de ácido fosfórico (PAFC), célula de carbonato fundido (MCFC), célula alcalina (AFC) e célula de membrana de troca de prótons (PEM).

3.2 A curva de polarização

À medida que a corrente aumenta, a tensão da célula cai em três regiões sucessivas:

REGIME (CORRENTE CRESCENTE)	O QUE CAUSA A QUEDA DE TENSÃO
1 — Perda de ativação	Energia necessária para iniciar a reação eletroquímica nos eletrodos. Domina em baixa corrente — é a primeira queda de tensão, a partir da tensão de circuito aberto.
2 — Queda ôhmica	Resistência interna do eletrólito e dos demais componentes do stack. Domina na faixa intermediária de corrente, com queda aproximadamente linear.
3 — Perda por concentração	Limitação no fornecimento de gás (H_2/O_2) ao eletrodo em alta corrente. Domina perto da corrente máxima, com queda acentuada.

FIG. 1 A curva de polarização de uma célula a combustível [3]. A tensão cai em três regimes distintos conforme a corrente sobe — não é uma queda linear.

3.3 O que isso significa para quem especifica a fonte: faixas muito diferentes

A Tabela 1 do documento-fonte compara especificações de stacks de célula a combustível de diferentes fabricantes — mostra, na prática, o quanto a faixa de tensão e corrente varia de um projeto para outro:

COMPARATIVO DE STACKS DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL ENTRE FABRICANTES (IDENTIFICADOS COMO A A F NO DOCUMENTO-FONTE, SEM ATRIBUIÇÃO DE MARCA)

FABRICANTE	POTÊNCIA (FC)	Nº DE CÉLULAS	FAIXA V / I	VMÍN/VMÁX	TA (°C)
A	6,8 kW	48 unid.	47 a 29 Vcc / 0 a 130 A	61,7 %	−20 a 55 °C
B	13,6 kW	96 unid.	94 a 58 Vcc / 0 a 130 A	61,7 %	−20 a 55 °C
C	75 kW	275 unid.	267 a 167 Vcc / 0 a 450 A	62,5 %	−30 a 70 °C
D	125 kW	455 unid.	441 a 278 Vcc / 0 a 450 A	63 %	−30 a 70 °C

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

FABRICANTE	POTÊNCIA (FC)	Nº DE CÉLULAS	FAIXA V / I	VMÍN/VMÁX	TA (°C)
E	6 kW	não informado	96 a 60 Vcc / 0 a 83 A	62,5 %	−5 a 35 °C
F	27 kW	não informado	88 a 52,8 Vcc / 0 a 352 A	60 %	−33 a 50 °C

> **AVISO**
>
> O documento-fonte não identifica os fabricantes A a F nem define explicitamente o que representa a razão "Vmín/Vmáx" — reproduzimos a tabela tal como o original a apresenta, sem atribuir marca nem inferir metodologia de cálculo não declarada.

Note a faixa: de 6 kW a 125 kW, de 48 a 455 células, com tensões de stack que vão de dezenas de volts a centenas de volts. É essa variação — não um valor único — que justifica a exigência de faixa larga de entrada no conversor do lado da carga (Capítulo 7).

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 4

Arquitetura do sistema e o papel da fonte MEAN WELL

A arquitetura elétrica de um sistema de energia a hidrogênio se organiza nos dois blocos já apresentados — eletrólise e célula a combustível —, cada um com sua própria cadeia de conversão de potência [4].

LADO DO SISTEMA	ENTRADA DE ENERGIA	CONVERSÃO	SAÍDA
Eletrólise (consome energia)	Rede elétrica · turbina eólica · painel solar · banco de baterias	CA/CC (rede, eólica) ou CC/CC (solar, baterias), conforme a fonte de energia	CC para o eletrolisador — produz H_2 + O_2 a partir da água
Célula a combustível (gera energia)	H_2 armazenado (tanque ou duto)	Reação eletroquímica no stack, gerando energia elétrica CC	CC de tensão variável → CC/CC (ventilador, motor CC, controlador, monitor) e/ou CC/CA (cargas CA)

FIG. 2 Arquitetura elétrica do sistema de energia a hidrogênio — o lado da eletrólise (consome energia) e o lado da célula a combustível (gera energia).

4.1 O que a seleção de fonte exige em cada lado

O fabricante é direto sobre o critério de seleção em cada bloco:

- **Fontes para eletrólise** — exigem função de corrente constante e controle de corrente programável.
- **Fontes para célula a combustível** — exigem faixa larga de tensão de entrada e alta capacidade de potência nominal; o usuário deve observar que a tensão do stack da célula a combustível aumenta com o tempo de uso e o envelhecimento.

> **AVISO**
> O documento-fonte declara textualmente que a tensão do stack "aumenta com o tempo de uso e o envelhecimento" — sem detalhar o mecanismo físico dessa variação. Reproduzimos a afirmação tal como o original a apresenta, sem interpretação adicional; para o comportamento específico do stack que sua aplicação vai usar, consulte o fabricante do stack.

4.2 A característica MEAN WELL que sustenta os dois lados

A característica central das fontes MEAN WELL para este mercado é que um único modelo tem múltiplas versões de tensão, com projeto de faixa larga, para atender diferentes aplicações. Os usuários conseguem as funções de tensão de saída programável (PV) e corrente de saída programável (PC), implementáveis pela interface de comunicação e por tensão externa.

A seleção de fontes para produção de hidrogênio por eletrólise se divide em duas arquiteturas de catálogo — **fontes modulares** e **fontes de sistema centralizado** —, tratadas em detalhe no Capítulo 5.

> **CUIDADO — O QUE ESTE DOCUMENTO NÃO DETALHA**

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

> O documento-fonte menciona "interface de comunicação" para as funções PV/PC, sem detalhar protocolo, endereço de registrador ou parâmetros de configuração — diferente, por exemplo, da nota NA-XDR-BR, que documenta MODBus RTU registrador a registrador para a série XDR. Para o mapa de comunicação específico de cada série citada nesta nota (DPU-3200, PHP-3500, NCP-3200, SHP-30K, DHP-1UT-B(HV), CMU2), consulte o datasheet e o manual do controlador diretamente com o suporte técnico antes de projetar a integração com o sistema supervisório.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 5

Fontes para eletrólise: modular e centralizada

Para a produção de hidrogênio por eletrólise, a MEAN WELL oferece duas arquiteturas de catálogo — módulos independentes e sistema centralizado — que resolvem a mesma tarefa por caminhos diferentes.

5.1 Fontes modulares — uma fonte por tanque eletrolítico

Na arquitetura modular, uma única fonte de alimentação corresponde a um tanque eletrolítico, formando um módulo. Fontes modulares dão mais flexibilidade: o usuário escolhe múltiplos módulos independentes ou múltiplos módulos em paralelo para eletrólise de alta potência, conforme a potência do sistema ou os requisitos de configuração.

FONTES MODULARES PARA ELETRÓLISE — UMA UNIDADE POR TANQUE ELETROLÍTICO

SÉRIE	POTÊNCIA	ENTRADA	SAÍDA CC
DPU-3200	3.200 W	CA monofásica	24 Vcc, 48 Vcc
PHP-3500	3.500 W	CA monofásica	24 Vcc, 48 Vcc, 115 Vcc, 230 Vcc, 380 Vcc

5.2 Sistemas centralizados — arquitetura (3+N)

Nos sistemas de potência centralizados, o fabricante cita as séries NCP-3200 e SHP-30K como exemplo de fonte CA-CC, organizadas em duas soluções conforme o tipo de entrada:

- **Entrada CA monofásica** → série NCP-3200 + prateleira DHP-1UT-B(HV) + controlador CMU2 + rack cabinet.
- **Entrada CA trifásica** → série SHP-30K + controlador CMU2 + rack cabinet.

SISTEMAS CENTRALIZADOS PARA ELETRÓLISE — ARQUITETURA (3+N)

SOLUÇÃO	POTÊNCIA MÁXIMA DO SISTEMA	SAÍDA CC	ENTRADA
NCP-3200 + DHP-1UT-B(HV) + CMU2 + rack 19"	até 320 kW	24 Vcc, 48 Vcc, 380 Vcc	CA monofásica
SHP-30K + CMU2 + rack 19"	até 360 kW	55 Vcc, 115 Vcc, 230 Vcc, 380 Vcc	CA trifásica

> **AVISO**
> O texto-fonte cita genericamente "até 300 kW" para a configuração centralizada (3+N) antes de detalhar a tabela por solução, que especifica 320 kW (solução monofásica, NCP-3200) e 360 kW (solução trifásica, SHP-30K). Reproduzimos os dois números tal como o documento original os apresenta, sem reconciliar a diferença.

Configurações de sistema de potência centralizado podem ainda ser combinadas conforme os requisitos da fábrica, para viabilizar múltiplas eletrólises de hidrogênio de alta potência — ou seja, o teto por solução (320 kW ou 360 kW) não é necessariamente o teto do projeto: vários sistemas centralizados podem operar lado a lado. Para mais detalhes, o documento-fonte remete ao material

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

System Power Solution.pdf, disponível no site do fabricante (não verificado de forma independente para esta nota — ver Capítulo 12).

5.3 Um cuidado que já está documentado para estas mesmas séries

> **PERIGO**
>
> O manual de instalação e segurança de fontes de sistema já publicado pela LRI (código MI-SYS-BR, que cobre exatamente estas séries — NCP-3200, DPU-3200, DHP-1U, DHP-1UT-B, SHP-30K e CMU2, entre outras de rack) registra um ponto crítico de manutenção: retirar um módulo do rack **não desenergiza nada** — o barramento continua vivo, e o slot vazio tem contatos energizados. Trate a manutenção de módulo em sistema centralizado com o mesmo rigor de uma intervenção em painel energizado, mesmo com o módulo específico já removido.

Este dado vem do manual de instalação da LRI para a linha de fontes de sistema (MI-SYS-BR), não do documento de introdução ao sistema de hidrogênio — é reproduzido aqui porque se aplica diretamente às mesmas séries usadas na arquitetura centralizada descrita neste capítulo.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 6

Controle programável da eletrólise

A eletrólise não recebe uma corrente fixa aplicada de uma vez — ela é conduzida por uma malha de controle que acompanha a reação química do tanque em tempo real.

6.1 PV e PC: o que cada função entrega

As fontes MEAN WELL implementam tensão de saída programável (**PV**) e corrente de saída programável (**PC**), acessíveis pela interface de comunicação e por tensão externa. Para a eletrólise, a função relevante é a PC: ela tem faixa ajustável de 20 % a 100 % do carregamento.

6.2 A malha de controle, passo a passo

O documento-fonte descreve o exemplo de controle das fontes de sistema centralizado (3+N) realizando eletrólise com stacks:

ETAPA	O QUE ACONTECE
1 — Partida	No início do processo de eletrólise, a corrente das fontes de sistema é ajustada conforme a impedância interna e a reação de gás do tanque eletrolítico — a corrente parte de um nível baixo, não do valor nominal.
2 — Rampa	A corrente das fontes de sistema muda de baixa para alta ao longo do tempo, para realizar a eletrólise, dentro da faixa de 20 % a 100 % do carregamento que a função PC permite ajustar.
3 — Realimentação	Durante o processo, o controlador de sistema detecta o parâmetro de gás e a corrente/tensão de saída das fontes a qualquer momento, trazendo esses dados para a malha de controle do sistema.
4 — Ajuste	O controlador de sistema comanda as fontes de sistema MEAN WELL por comunicação, ajustando corrente e tensão de saída para atingir a eficiência ótima de eletrólise.

FIG. 3 Malha de controle da corrente de eletrólise — o controlador de sistema ajusta a fonte MEAN WELL por comunicação, em tempo real.

Por que a corrente não começa no valor nominal

A vantagem das fontes de sistema MEAN WELL é que a função PC tem faixa ajustável de 20 % a 100 % do carregamento — o que permite ao controlador de sistema comandar a fonte para realizar a eletrólise em um nível de corrente mais baixo, por comunicação, em vez de aplicar o valor nominal desde o primeiro instante.

CUIDADO

Esta é uma malha de controle de processo do eletrolisador, comandada pelo controlador de sistema (tipicamente o CMU2 ou um controlador de processo do integrador) via comunicação — não um ajuste manual feito no potenciômetro local da fonte. O documento-fonte não detalha o protocolo de comunicação usado especificamente para esta malha (MODBus ou outro); confirme com o suporte técnico antes de projetar a integração.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 7

Conversão de potência para a célula a combustível

Do lado da célula a combustível, o problema de engenharia é o oposto do da eletrólise: a fonte não entrega energia ao processo — ela recebe a energia gerada pelo stack, numa tensão que varia de projeto para projeto (Capítulo 3) e que se desloca ao longo da vida útil (Capítulo 4), e precisa condicionar essa energia para as cargas do sistema.

7.1 DDRH e SD: condicionando a tensão do stack

Como exemplo, o fabricante cita as fontes CC-CC de faixa larga de tensão da série DDRH: a energia gerada pela célula a combustível é convertida em baixa tensão pelo conversor CC-CC de alta tensão da série DDRH, e fornecida a cargas como ventilador, motor CC, controlador e aplicações de monitor LCD.

CONVERSORES CC-CC MEAN WELL CITADOS PARA CÉLULA A COMBUSTÍVEL

SÉRIE	MODELO	ENTRADA CC	SAÍDA CC	OBSERVAÇÃO
DDRH	DDRH-240	250–1.500 Vcc	12 / 24 / 32 / 48 Vcc	Aplicação em paralelo de até 4 unidades
SD	SD-1000	19–72 Vcc ou 72–144 Vcc	12 / 24 / 48 Vcc	—

7.2 Armazenamento em bateria: o segundo conversor

De forma geral, sistemas de célula a combustível também são equipados com outro conversor CC-CC de alta potência, para armazenar a energia da célula a combustível em um sistema de bateria de backup, destinado a outras cargas CC.

7.3 O NTN-5K: inversor/carregador bidirecional (em desenvolvimento)

O novo produto que a MEAN WELL está preparando para lançar é o design 2 em 1 de inversor e carregador bidirecional CA-CC de alta potência, série **NTN-5K**. A faixa larga de tensão de entrada CC do inversor CC-CA se ajusta a aplicações de célula a combustível. O inversor converte potência CC em potência CA, e também pode suportar aplicações de sistema CA monofásico ou trifásico de 220 kW, por meio de conexão série-paralelo no lado de entrada CC e conexão em paralelo no lado de saída CA.

CONVERSOR BIDIRECIONAL MEAN WELL CITADO PARA CÉLULA A COMBUSTÍVEL

SÉRIE	MODELO	ENTRADA CC	SAÍDA CA	OBSERVAÇÃO
NTN	NTN-5K *(em desenvolvimento)*	20–33 / 40–66 / 280–430 Vcc	200–240 Vca	Tipo off-grid (fora da rede); conexão série-paralelo na entrada CC e em paralelo na saída CA, para sistemas de até 220 kW

> **ADVERTÊNCIA**
> O NTN-5K está identificado como *developing* (em desenvolvimento) no documento-fonte — não é um produto disponível para pedido no momento da emissão desta nota. Confirme o status de disponibilidade com o suporte técnico MEAN WELL/LRI antes de especificar o modelo em um projeto.

Note que a série NTN-5K é diferente das séries NTS/NTU (inversores CC-CA senoidais puros já documentados pela LRI no manual MI-INV-BR) e da série BIC-2200 (conversor bidirecional já

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

documentado pela LRI no manual MI-BIC-BR) — são famílias distintas, e nenhum dos dois manuais citados cobre o NTN-5K. Não use dados de uma dessas famílias para especificar o NTN-5K.

> **AVISO**
>
> Para mais detalhes das soluções DC-DC e CA-CC bidirecionais citadas neste capítulo, o documento-fonte remete à MEAN WELL Virtual Expo — não verificada de forma independente para esta nota (Capítulo 12).

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 8

Segurança em atmosfera de hidrogênio

Este é o ponto em que esta nota exige mais rigor do que qualquer outra: nenhum dos documentos consultados para redigi-la confirma certificação de produto para atmosfera explosiva, em nenhuma das séries citadas.

8.1 O que os documentos consultados NÃO declaram

> **PERIGO**
>
> Hidrogênio é um gás inflamável. Nenhum dos documentos consultados para esta nota — o documento de introdução ao sistema de energia a hidrogênio, os recursos de catálogo da LRI — menciona classificação de área, certificação ATEX, certificação IECEx, ou qualquer selo de segurança específico para atmosfera explosiva, para nenhuma das séries aqui citadas: DPU-3200, PHP-3500, NCP-3200, SHP-30K, DHP-1UT-B(HV), CMU2, DDRH, SD-1000 e NTN-5K.

Isso é diferente, por exemplo, da nota de aplicação NA-XDR-BR (série de trilho DIN XDR), que declara certificação Classe I Divisão 2 — mas mesmo aquela nota é explícita ao afirmar que a XDR **não** tem certificação ATEX nem IECEx. Para as séries deste documento, nem essa informação parcial existe nas fontes consultadas: trate como não certificado para área classificada até confirmação direta com o fabricante, e não estenda o dado de Classe I Divisão 2 da XDR — uma série diferente, para uma aplicação diferente — a nenhuma das séries de hidrogênio.

8.2 Onde a fonte normalmente se posiciona no sistema

Nas arquiteturas descritas nos Capítulos 4 a 7, a fonte de alimentação (ou o conversor) fica no lado **elétrico** da cadeia — convertendo energia de rede, eólica, solar ou bateria para o eletrolisador, ou condicionando a energia que sai do stack da célula a combustível. O eletrolisador, o tanque de armazenamento e o stack da célula a combustível — os equipamentos que efetivamente manuseiam o gás — são equipamentos de outro fabricante, fora do escopo desta nota.

Se a fonte de alimentação precisa ou não ser instalada fisicamente dentro de uma área classificada depende inteiramente do layout e do estudo de classificação de área daquele projeto específico — uma decisão de engenharia da instalação, não algo que este documento, ou o documento-fonte do fabricante, resolve de forma genérica.

8.3 O que fazer na prática

- Antes de instalar qualquer fonte MEAN WELL dentro de uma área classificada por hidrogênio, confirme a certificação específica do modelo diretamente com o suporte técnico — não presuma a partir de outra série, mesmo dentro da mesma marca.
- Se o layout do projeto permite instalar as fontes de alimentação fora da área classificada — num quadro elétrico separado, com apenas a fiação de potência cruzando para o eletrolisador ou para o stack —, essa é a abordagem que evita depender de uma certificação que os documentos consultados não confirmam. Mesmo assim, a decisão de onde a fronteira da área classificada passa é do estudo de classificação de área do projeto, não desta nota.
- Documente a decisão de área classificada junto com o restante do projeto elétrico exigido pela NR-10 e pela família de normas brasileiras para atmosfera explosiva (ABNT NBR IEC 60079) —

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

referências regulatórias gerais de instalação, citadas aqui como orientação de projeto, não como certificação de nenhum produto MEAN WELL.

> **AVISO**
>
> Onde este capítulo cita normas brasileiras (NR-10, ABNT NBR IEC 60079), é como referência regulatória geral aplicável a qualquer instalação elétrica em atmosfera potencialmente explosiva no Brasil — não como uma declaração de que qualquer fonte MEAN WELL citada nesta nota atende a essas normas ou está certificada para uso em área classificada. Essa certificação, especificamente, não está confirmada em nenhuma fonte consultada.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 9

Armadilhas de especificação

Os enganos abaixo decorrem, na maioria das vezes, de tratar um documento de introdução de sistema como se fosse um datasheet — ou de estender um dado de uma série a outra sem confirmar.

#	O ENGANO	O QUE É DE FATO
01	Tratar "energia a hidrogênio" como uma única tensão de sistema	A tensão do stack — de eletrólise ou de célula a combustível — é definida pelo arranjo de células do cliente, não por um catálogo. O exemplo do fabricante (2 Vcc × 48 células = 96 Vcc) é ilustrativo, não uma constante da indústria.
02	Confundir eletrólise com célula a combustível na hora de escolher a fonte	São direções opostas de conversão: a eletrólise consome energia elétrica para produzir H_2 (a fonte entrega energia ao processo); a célula a combustível gera energia elétrica a partir de H_2 (a fonte/conversor recebe energia do stack). A exigência de seleção é diferente em cada lado.
03	Dimensionar o conversor do lado da célula a combustível pela tensão nominal do stack novo	O documento-fonte declara que a tensão do stack aumenta com o tempo de uso e o envelhecimento — a faixa de entrada do conversor (ex.: DDRH-240, 250–1.500 Vcc) precisa cobrir esse deslocamento ao longo da vida útil, não só o ponto inicial.
04	Somar a potência de módulos independentes sem verificar a arquitetura	"Modular" (uma fonte por tanque, DPU-3200/PHP-3500) e "sistema centralizado" (3+N, NCP-3200/SHP-30K + CMU2) são soluções de catálogo distintas, com potências máximas de sistema diferentes — 320 kW e 360 kW, respectivamente, segundo o documento-fonte.
05	Especificar o NTN-5K como se já estivesse disponível para pedido	O documento-fonte identifica a série como "developing" (em desenvolvimento) no momento de sua publicação. Confirme disponibilidade antes de fechar o projeto — e não confunda a série com NTS/NTU ou BIC-2200, já disponíveis mas de famílias diferentes.
06	Presumir certificação para área classificada, ATEX ou IECEx em qualquer série deste documento	Nenhuma das fontes consultadas declara essa certificação para DPU-3200, PHP-3500, NCP-3200, SHP-30K, DHP-1UT-B(HV), CMU2, DDRH, SD ou NTN-5K. Confirme diretamente com o fabricante antes de instalar em área classificada (Capítulo 8).
07	Ajustar a corrente da eletrólise manualmente, sem malha de controle	A corrente de eletrólise é ajustada dinamicamente pelo controlador de sistema, começando baixa e subindo conforme a impedância interna e a reação de gás do tanque evoluem (Capítulo 6) — não é um valor fixo aplicado desde o instante zero.
08	Achar que "corrente constante" e "tensão constante" são o mesmo critério de seleção	A seleção de fonte para eletrólise pede corrente constante com controle de corrente programável (função PC); a fonte para célula a combustível pede principalmente faixa larga de tensão de entrada e alta potência. São critérios diferentes, para lados diferentes do sistema.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 10

Aplicações típicas

As aplicações abaixo decorrem diretamente da arquitetura que o documento-fonte descreve (Capítulo 4) — não é uma lista de segmentos de mercado declarada separadamente pelo fabricante, como acontece em outras notas desta série.

ELETRÓLISE

Produção de hidrogênio verde

Conversão de energia de rede, eólica, solar ou de banco de baterias em corrente contínua para alimentar o eletrolisador — módulo a módulo (DPU-3200/PHP-3500) ou em sistema centralizado 3+N (NCP-3200/SHP-30K).

CÉLULA A COMBUSTÍVEL

Geração de energia a partir de H_2 armazenado

Conversão da tensão variável do stack (DDRH-240) para cargas de baixa tensão — ventilador, motor CC, controlador, monitor — e para carregamento de bateria de backup (SD-1000 e o segundo conversor de alta potência citado no Capítulo 7).

ARMAZENAMENTO E REDE

Sistema bidirecional CA-CC

Carregamento da bateria de backup a partir da energia da célula a combustível e inversão para carga CA, com o NTN-5K — quando disponível — operando fora da rede (off-grid).

Um mesmo projeto de sistema de energia a hidrogênio normalmente combina os três: eletrólise para produzir o hidrogênio, armazenamento até o uso, e célula a combustível com backup de bateria para devolver a energia quando necessário. A escolha entre arquitetura modular e centralizada do lado da eletrólise (Capítulo 5) é dimensionada pela potência total do projeto, não pelo tipo de aplicação.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 11

Resumo e suporte no Brasil

Do lado da eletrólise, a MEAN WELL oferece dois caminhos: módulos independentes — uma fonte por tanque eletrolítico (DPU-3200, PHP-3500) — e sistemas centralizados com arquitetura (3+N) que chegam a 320 kW com entrada monofásica (NCP-3200 + DHP-1UT-B(HV) + CMU2) ou 360 kW com entrada trifásica (SHP-30K + CMU2). Do lado da célula a combustível, a família DDRH condiciona a tensão variável e crescente do stack para as cargas do sistema, a família SD atende faixas de tensão mais baixas, e o NTN-5K — ainda em desenvolvimento — promete um inversor/carregador bidirecional único para integrar bateria e rede CA.

O documento-fonte declara uma capacidade de até 510 kW para os produtos CA-CC modulares e o sistema centralizado 3+N aplicados à eletrólise, até 220 kW para as fontes bidirecionais CA-CC, e até 90 kW para as fontes inversoras CC-CA aplicadas à célula a combustível. O texto original apresenta esses três números sem detalhar como eles se somam ou se sobrepõem entre si — reproduzidos aqui tal como declarados, sem reconciliação editorial desta nota.

Atualmente, a MEAN WELL pode fornecer mais soluções de fonte de alimentação conforme a necessidade de cada aplicação, nos campos de eletrólise de hidrogênio, célula a combustível e energia renovável — mas os detalhes específicos de qualquer solução além das citadas nesta nota dependem de contato direto com o fabricante ou com a equipe técnica da LRI.

ELETRÓLISE MODULAR

DPU-3200 / PHP-3500

3.200 W e 3.500 W por unidade — um módulo por tanque eletrolítico.

ELETRÓLISE CENTRALIZADA

320 / 360 kW

Arquitetura (3+N) — monofásica com NCP-3200, trifásica com SHP-30K.

CÉLULA A COMBUSTÍVEL

DDRH · SD · NTN-5K

Condicionamento de tensão variável do stack, backup de bateria e — em desenvolvimento — conversão bidirecional CA/CC.

Mean Well Brasil · LRI Automação Industrial

Site: meanwellbrasil.com.br
Telefones: (51) 2129-3000 · (11) 4020-2470
E-mail: vendas@lri.com.br

Para seleção de modelo, confirmação de disponibilidade do NTN-5K, certificação para área classificada e suporte de aplicação em sistemas de energia a hidrogênio, fale com a equipe técnica antes de fechar a especificação — nenhum dado de certificação para atmosfera explosiva consta das fontes consultadas nesta nota (Capítulo 8).

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000

CAPÍTULO 12

Referências

- MEAN WELL — *Power Supplies Introduction for Hydrogen Energy System*, Technical Service Center / Europe Office (EUTS@meanwell.eu). Documento de origem desta nota.
- Referências internas do documento-fonte, reproduzidas como citadas no original: [1] 經濟部能源署 (Administração de Energia do Ministério dos Assuntos Econômicos de Taiwan) — sobre o estado do desenvolvimento tecnológico da eletrólise de hidrogênio por energia renovável. [2] Artigo sobre introdução à tecnologia de produção de hidrogênio por eletrólise e análise do cenário de desenvolvimento no Japão. [3] H. E. A., A. C., C. S., A. P. N. e E. G., *"Thermal and Electrical Parameter Identification of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Genetic Algorithm"*, 2018. [4] Hydrogen Technology Expo Europe 2023.
- MEAN WELL — *System Power Solution.pdf*, citado no documento-fonte como referência complementar para as soluções de sistema centralizado (Capítulo 5); não verificado de forma independente nesta nota.
- MEAN WELL Virtual Expo, citada no documento-fonte para mais detalhes da linha CC-CC e CA-CC bidirecional (Capítulo 7); não verificada de forma independente nesta nota.
- LRI Automação Industrial — Manual de instalação e segurança MI-SYS-BR, *fontes de sistema* (racks, prateleiras e módulos NCP-3200, DPU-3200, DHP-1U, DHP-1UT-B, SHP-30K, CMU2, entre outras). Fonte do dado sobre módulo removido e barramento energizado, citado no Capítulo 5.
- LRI Automação Industrial — recursos de catálogo (meanwell-recursos-lri.json e meanwell-recursos-documentos.json), usados para confirmar a existência das séries DPU-3200, PHP-3500, NCP-3200, SHP-30K, DHP-1UT-B(HV), CMU2 e NTN-5K no portfólio distribuído no Brasil, e para diferenciar o NTN-5K das famílias NTS/NTU e BIC-2200 já documentadas separadamente (Capítulo 7).
- LRI Automação Industrial — Nota de Aplicação NA-XDR-BR, *Fontes para trilho DIN de alta confiabilidade — Série XDR*, rev. 01, 09/2026. Citada apenas para o contraste de certificação de área classificada no Capítulo 8 — os dados da série XDR não se aplicam às séries de hidrogênio desta nota.
- Brasil: NR-10 — Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade; ABNT NBR IEC 60079 (série) — Atmosferas explosivas. Citadas no Capítulo 8 como referência regulatória geral para o projeto de instalação, não como certificação de produto MEAN WELL.

> **AVISO**
>
> Esta nota é uma tradução e ampliação de um documento de introdução do fabricante — não é a folha de especificação de nenhum modelo. Onde um dado técnico específico (tensão, corrente, protocolo de comunicação, certificação) não constava do documento-fonte nem dos recursos de catálogo consultados, isso está declarado no texto ao longo da nota.
>
> O ponto de maior atenção é o Capítulo 8: nenhuma das fontes consultadas confirma certificação para área classificada, ATEX ou IECEx em qualquer série aqui citada (DPU-3200, PHP-3500, NCP-3200, SHP-30K, DHP-1UT-B(HV), CMU2, DDRH, SD-1000 ou NTN-5K). Essa lacuna não foi preenchida com nenhum valor plausível — foi declarada como lacuna, e deve ser confirmada diretamente com o fabricante antes de qualquer instalação em atmosfera de hidrogênio.
>
> A folha de especificação do modelo específico, obtida diretamente com o fabricante ou com a LRI, é a autoridade final antes de qualquer especificação de projeto.

Distribuída no Brasil pela LRI | vendas@lri.com.br | 51 2129-3000