RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

Aprendizagem tecnológica na transferência de conhecimento da malásia e da Suíça para a manufatura de módulos fotovoltaicos no Brasil

Technological learning in the transfer of knowledge from Malaysia and Switzerland to photovoltaic module manufacturing in Brazil

Aprendizaje tecnológico en la transferencia de conocimientos desde Malasia y Suiza hacia la fabricación de módulos fotovoltaicos en Brasil

Felipe Thomaz Souza Perri[1]
Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS, 2015). MBA em Gestão da Manutenção e Produção pela FACENS (2020). MBA em Gestão Industrial, Logística e Qualidade pela Faculdade Líbano (2026). Cursando MBA Executivo em Gestão Competitiva e Business Intelligence pela Faculdade Líbano. Certificado Six Sigma Green Belt / Lean Green Belt.

RESUMO

A instalação de fábricas de módulos fotovoltaicos em países de industrialização tardia depende da transferência de conhecimentos técnicos que, em grande parte, não estão contidos em manuais e especificações. Este artigo analisa como esse conhecimento foi transferido e incorporado durante a implantação de uma linha de fabricação de módulos fotovoltaicos operada por uma empresa multinacional de manufatura eletrônica em Sorocaba, no estado de São Paulo, entre 2016 e 2017. O estudo adota o delineamento de caso único com unidades de análise incorporadas e examina dois fluxos internacionais de aprendizagem, a participação no ramp-up de uma unidade da mesma empresa em Johor Bahru, na Malásia, e o treinamento técnico no fabricante dos simuladores solares, em Neuchâtel, na Suíça, além da internalização desse conhecimento na operação brasileira. A análise, fundamentada nas teorias de transferência de conhecimento em multinacionais, capacidade absortiva e acumulação de capacidades tecnológicas, indica que a imersão presencial foi decisiva para a aquisição do conhecimento tácito de processo, que o domínio da metrologia de teste exigiu contato direto com o fabricante do equipamento e que a codificação do aprendizado em planos de manutenção e procedimentos permitiu sua difusão às equipes locais. A posterior condução de projetos de melhoria contínua, com redução de 92% nos defeitos associados aos parâmetros de laminação, é interpretada como evidência de capacidade absortiva realizada.

Palavras-chave: transferência de tecnologia; capacidade absortiva; aprendizagem tecnológica; módulos fotovoltaicos; metrologia.

ABSTRACT

Setting up photovoltaic module factories in late-industrializing countries depends on the transfer of technical knowledge that is largely not contained in manuals and specifications. This article analyzes how such knowledge was transferred and incorporated during the start-up of a photovoltaic module production line operated by a multinational electronics manufacturing services company in Sorocaba, São Paulo State, between 2016 and 2017. The study adopts an embedded single case design and examines two international learning flows, participation in the ramp-up of a sister plant in Johor Bahru, Malaysia, and technical training at the solar simulator manufacturer in Neuchâtel, Switzerland, as well as the internalization of this

[1]Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS, 2015). MBA em Gestão da Manutenção e Produção pela FACENS (2020). MBA em Gestão Industrial, Logística e Qualidade pela Faculdade Líbano (2026). Cursando MBA Executivo em Gestão Competitiva e Business Intelligence pela Faculdade Líbano. Certificado Six Sigma Green Belt / Lean Green Belt. Engenheiro registrado no CREA-SP e membro da Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

knowledge in the Brazilian operation. Grounded in theories of knowledge transfer in multinational firms, absorptive capacity and technological capability accumulation, the analysis indicates that on-site immersion was decisive for acquiring tacit process knowledge, that mastering test metrology required direct contact with the equipment manufacturer, and that codifying what was learned into maintenance plans and procedures allowed it to spread to local teams. The subsequent conduct of continuous improvement projects, with a 92% reduction in defects associated with lamination parameters, is interpreted as evidence of realized absorptive capacity.
Keywords: technology transfer; absorptive capacity; technological learning; photovoltaic modules; metrology.

1 INTRODUÇÃO

A expansão acelerada da energia solar fotovoltaica nas últimas duas décadas foi acompanhada de uma concentração geográfica igualmente acentuada de sua base manufatureira. Segundo a International Energy Agency (2022), a participação da China supera 80% em todas as etapas principais da fabricação de painéis, mais do que o dobro de sua participação na demanda global, e o investimento chinês transformou países do Sudeste Asiático, como a Malásia e o Vietnã, em exportadores relevantes de equipamentos fotovoltaicos. Nesse cenário, a instalação de linhas de produção em países de industrialização tardia raramente faz parte do desenvolvimento autônomo da tecnologia. O caminho mais comum é a importação de equipamentos e de processos já estabilizados em outras unidades, o que transforma a capacidade de aprender com essas fontes externas em um determinante central do desempenho das novas fábricas e da formação de competências técnicas locais.

No Brasil, a demanda por sistemas fotovoltaicos ganhou impulso a partir da regulamentação da micro e minigeração distribuída pela Agência Nacional de Energia Elétrica (2012) e, mais tarde, com o marco legal instituído pela Lei nº 14.300 (Brasil, 2022). A literatura sobre transferência de tecnologia, entretanto, mostra que a simples instalação de capacidade produtiva não garante a acumulação de capacidades tecnológicas. Bell e Pavitt (1993) distinguem a capacidade de produzir com determinada tecnologia da capacidade de gerar e gerenciar mudanças técnicas, e advertem que a segunda não decorre automaticamente da primeira. Essa distinção levanta uma questão pouco explorada em estudos empíricos brasileiros sobre o setor, a de saber como engenheiros e equipes locais efetivamente adquirem, assimilam e utilizam o conhecimento técnico que acompanha a importação de linhas de fabricação de módulos fotovoltaicos.

O objetivo deste artigo é analisar o processo de transferência e internalização de conhecimento técnico na implantação de uma linha de fabricação de módulos fotovoltaicos em Sorocaba, no estado de São Paulo, a partir de dois fluxos internacionais de aprendizagem, o ramp-up em uma

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

unidade da mesma empresa na Malásia e o treinamento técnico no fabricante suíço dos simuladores solares utilizados nos testes. O texto organiza-se em nove seções. Após esta introdução, a segunda seção apresenta a metodologia. As seções três a cinco constroem o referencial sobre transferência de conhecimento em multinacionais, capacidade absortiva e acumulação de capacidades tecnológicas. A sexta discute a metrologia de teste na manufatura fotovoltaica, a sétima analisa os fluxos de aprendizagem na Malásia e na Suíça, a oitava examina a internalização no Brasil e a nona reúne as conclusões.

2 METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e objetivos exploratórios e descritivos. O delineamento adotado foi o estudo de caso único com unidades de análise incorporadas, modalidade que Yin (2018) recomenda quando um mesmo caso contém subunidades cuja análise conjunta permite compreender o fenômeno de forma mais completa do que o exame de cada uma isoladamente. O caso é o processo de transferência de conhecimento técnico associado à implantação de uma linha de fabricação de módulos fotovoltaicos, e as unidades incorporadas são o ramp-up na Malásia, o treinamento na Suíça e a internalização do conhecimento na unidade brasileira. A escolha do caso único justifica-se por seu caráter revelador, uma vez que o acesso direto às três etapas do processo, por um mesmo profissional, é raramente disponível a pesquisadores externos às organizações envolvidas.

O contexto empírico é uma empresa multinacional de manufatura eletrônica sob contrato que, no período estudado, operava em Sorocaba uma linha de fabricação de módulos fotovoltaicos para um fabricante do setor. O autor atuou entre dezembro de 2016 e novembro de 2017 como engenheiro de equipamentos da operação, com responsabilidade pela implantação, instalação e manutenção dos equipamentos de teste da fábrica, e participou de aproximadamente dois meses de treinamento e ramp-up na unidade da empresa em Johor Bahru, na Malásia, e de um treinamento técnico de 40 horas no fabricante dos simuladores solares, em Neuchâtel, na Suíça, concluído com aproveitamento de 100% na avaliação final. Essa posição permite reconstituir o percurso do conhecimento desde suas fontes externas até sua aplicação na operação local.

As fontes de evidência incluem os registros dos treinamentos, a documentação técnica dos equipamentos, os checklists e planos de manutenção preventiva elaborados pelo autor, os registros de programação de paradas e de gestão de peças de reposição e os registros de encerramento de projetos de melhoria contínua conduzidos na linha. Como o autor participou

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

diretamente do processo estudado, a interpretação está sujeita a vieses de retrospecção e de envolvimento. Para reduzi-los, a análise privilegiou os registros documentais em detrimento de lembranças não documentadas e buscou confrontar sistematicamente as interpretações com a literatura, procedimento que Eisenhardt (1989) considera essencial para elevar a validade interna e o nível teórico de pesquisas baseadas em casos, tanto pela comparação com estudos convergentes quanto pelo exame de resultados divergentes.

A análise foi organizada a partir de categorias derivadas do referencial teórico. Para cada unidade incorporada foram identificados o tipo de conhecimento envolvido, segundo o grau de codificação, os mecanismos de transferência empregados, as barreiras observadas e os resultados de aprendizagem. Em seguida, as atividades do caso foram associadas às dimensões de aquisição, assimilação, transformação e exploração do conhecimento propostas por Zahra e George (2002). Os resultados devem ser lidos como generalização analítica, e não estatística, no sentido proposto por Yin (2018). Em respeito à confidencialidade, a empresa, seus clientes e fornecedores não são identificados nominalmente, e as informações quantitativas restringem-se às registradas formalmente nos documentos analisados.

3 TRANSFERÊNCIA INTERNACIONAL DE CONHECIMENTO EM EMPRESAS MULTINACIONAIS

A literatura sobre transferência internacional de tecnologia consolidou-se a partir do reconhecimento de que o conhecimento técnico não se transfere sem custo. Teece (1977), ao analisar projetos de transferência conduzidos por empresas multinacionais, demonstrou que os recursos consumidos para transferir o conhecimento de uma unidade a outra eram substanciais e variavam conforme a experiência prévia da unidade receptora e o número de aplicações anteriores da tecnologia. Esse achado contrariava a visão então difundida de que a tecnologia, uma vez desenvolvida, poderia ser replicada em qualquer lugar a custo marginal próximo de zero. A contribuição de Teece (1977) foi deslocar a atenção do conteúdo da tecnologia para o processo de sua transferência, que passou a ser compreendido como uma atividade produtiva em si mesma, com custos, prazos e riscos que precisam ser planejados e gerenciados.

Kogut e Zander (1993) aprofundaram essa perspectiva ao propor que a empresa multinacional existe, em grande medida, porque é mais eficiente do que o mercado na transferência de conhecimento difícil de codificar e de ensinar. Para os autores, quanto mais tácito e complexo é o conhecimento, maior a probabilidade de que ele seja transferido internamente, entre

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

unidades da mesma organização, e não por meio de licenciamento ou contratos com terceiros. Essa tese ajuda a compreender por que a implantação de novas linhas de manufatura em empresas multinacionais costuma envolver o deslocamento de profissionais entre unidades. O conhecimento sobre como operar, ajustar e manter um processo de fabricação reside em grande parte das pessoas e nas rotinas, e não nos documentos que descrevem o produto ou o equipamento.

Gupta e Govindarajan (2000) investigaram os fluxos de conhecimento entre subsidiárias de multinacionais e identificaram como determinantes o valor do estoque de conhecimento da unidade de origem, a disposição motivacional das unidades envolvidas, a existência e a riqueza dos canais de transmissão e a capacidade absortiva da unidade receptora. Szulanski (1996), em estudo sobre a transferência de melhores práticas dentro das empresas, chegou a uma conclusão que se tornou referência obrigatória no campo. Contrariando a expectativa de que os principais obstáculos seriam de ordem motivacional, o autor verificou que as barreiras mais importantes estavam ligadas ao conhecimento em si, como a ambiguidade causal, a dificuldade da relação entre as partes e, sobretudo, a falta de capacidade absortiva do receptor, fenômeno que denominou aderência interna do conhecimento.

Von Hippel (1994) contribuiu com o conceito de informação aderente, definida como aquela cuja transferência para outro local implica custos elevados. O autor argumenta que, quando a informação necessária à solução de um problema está distribuída entre diferentes locais e é aderente, a atividade de solução tende a se deslocar até onde essa informação se encontra, ou a alternar iterativamente entre os locais. Essa formulação tem implicações diretas para a manufatura. O conhecimento sobre o comportamento de um equipamento de teste, por exemplo, está parcialmente concentrado no fabricante, que conhece seu projeto, e parcialmente na fábrica usuária, que conhece as condições reais de operação. A solução de problemas técnicos exige, portanto, que pessoas e informações circulem entre esses pólos, e não apenas que documentos sejam enviados de um para outro.

Argote e Ingram (2000) sintetizam essas contribuições ao propor que o conhecimento das organizações seja incorporado em reservatórios compostos por pessoas, ferramentas e tarefas, bem como pelas redes que os interligam. A transferência de conhecimento, nessa perspectiva, ocorre quando há mudança em algum desses reservatórios na unidade receptora, e a movimentação de pessoas aparece como um dos mecanismos mais eficazes, justamente porque as pessoas carregam consigo conhecimento tácito e são capazes de adaptá-lo a novos contextos. Esse referencial oferece a base para a análise que se segue. A implantação da linha fotovoltaica

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

estudada combinou exatamente os mecanismos descritos pela literatura, o deslocamento de um profissional para as unidades de origem do conhecimento, sua imersão nas rotinas dessas unidades e o posterior repasse às equipes locais.

4 CONHECIMENTO TÁCITO, CAPACIDADE ABSORTIVA E APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL

A dificuldade de transferir conhecimento técnico remete à distinção formulada por Polanyi (1966) entre conhecimento explícito e conhecimento tácito, sintetizada na afirmação de que sabemos mais do que somos capazes de dizer. O conhecimento tácito envolve habilidades, julgamentos e percepções que se desenvolvem pela prática e que resistem à expressão completa em palavras, fórmulas ou procedimentos. Na manufatura, esse tipo de conhecimento manifesta-se na capacidade de reconhecer, pelo comportamento de um equipamento ou pela forma de uma curva de medição, que algo não está funcionando como deveria, mesmo antes de qualquer alarme ou indicador formal. Esse saber não está ausente dos manuais por descuido de quem os redige. Ele simplesmente não pode ser integralmente capturado neles, o que impõe limites a qualquer estratégia de transferência baseada apenas em documentação.

Nonaka (1994) e Nonaka e Takeuchi (1995) transformaram essa distinção em uma teoria dinâmica da criação de conhecimento organizacional, baseada na conversão contínua entre as formas tácita e explícita. O modelo descreve quatro modos de conversão, a socialização, em que o conhecimento tácito é compartilhado pela convivência e pela experiência comum, a externalização, em que ele é articulado em conceitos e modelos explícitos, a combinação, em que conhecimentos explícitos são reorganizados e sistematizados, e a internalização, em que o conhecimento explícito é incorporado à prática e volta a se tornar tácito. A relevância desse modelo para a transferência internacional está em mostrar que o deslocamento de pessoas favorece a socialização, enquanto a elaboração de procedimentos na unidade receptora corresponde à externalização e à combinação do que foi aprendido.

O conceito de capacidade absortiva, proposto por Cohen e Levinthal (1990), refere-se à habilidade de uma organização para reconhecer o valor de um conhecimento externo, assimilá-lo e aplicá-lo a fins comerciais. Os autores argumentam que essa capacidade depende fortemente do conhecimento prévio relacionado, de modo que o aprendizado se acumula e tende a ser dependente da trajetória. Organizações que não investem na formação de uma base de conhecimento própria encontram dificuldade crescente para aproveitar oportunidades

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

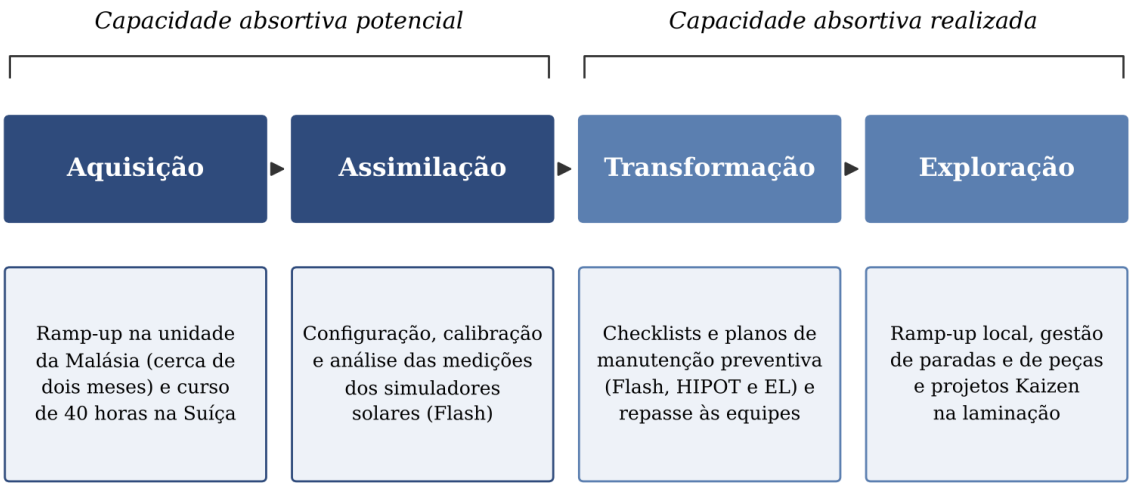
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

tecnológicas externas, porque não dispõem dos referenciais necessários para avaliá-las e incorporá-las. Kim (1998), ao estudar a trajetória da Hyundai Motor, acrescentou que a capacidade absortiva depende não apenas da base de conhecimento existente, mas também da intensidade do esforço empreendido, e mostrou como a construção deliberada de situações de pressão pode acelerar a aprendizagem tecnológica.

Zahra e George (2002) reformularam o conceito ao distinguir quatro dimensões da capacidade absortiva, agrupadas em dois componentes. A capacidade absortiva potencial compreende a aquisição, entendida como a habilidade de identificar e obter conhecimento externo relevante, e a assimilação, que consiste em analisar, interpretar e compreender esse conhecimento. A capacidade absortiva realizada compreende a transformação, que envolve a combinação do conhecimento adquirido com o conhecimento existente, e a exploração, que corresponde à sua aplicação em operações, produtos ou melhorias. Os autores sustentam que as organizações podem apresentar níveis elevados de capacidade potencial sem convertê-la em resultados, o que torna a distinção útil para avaliar se um esforço de transferência efetivamente se traduziu em competência operacional. A Figura 1 associa essas dimensões às atividades do caso estudado.

Figura 1 - Dimensões da capacidade absortiva associadas às atividades do caso estudado



Fonte: elaborada pelo autor com base em Zahra e George (2002).

A leitura da Figura 1 evidencia que as etapas internacionais do processo concentraram-se nas dimensões de aquisição e assimilação, ao passo que as etapas desenvolvidas no Brasil corresponderam à transformação e à exploração. Essa divisão não é apenas cronológica. Ela

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

expressa uma condição necessária para que a transferência produza efeitos duradouros, pois o conhecimento obtido no exterior só se converte em capacidade da unidade receptora quando é recombinado com o contexto local e aplicado em decisões operacionais. Kim (1998) mostra, no caso da Hyundai Motor, que a aprendizagem avançou da assimilação de tecnologias estrangeiras para o desenvolvimento de competências próprias à medida que o esforço interno se intensificou. O caso analisado permite examinar as primeiras etapas de uma trajetória semelhante no âmbito restrito de uma linha de fabricação, em que a passagem da reprodução de rotinas à sua melhoria constitui o principal indicador de aprendizagem.

5 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EM ECONOMIAS DE INDUSTRIALIZAÇÃO TARDIA

A literatura sobre desenvolvimento industrial ofereceu contribuições decisivas para compreender como empresas de países de industrialização tardia constroem competências a partir de tecnologias importadas. Lall (1992) propôs uma taxonomia das capacidades tecnológicas no nível da empresa, organizada em capacidades de investimento, relacionadas à seleção, à implantação e à partida de novas instalações, capacidades de produção, relacionadas à operação, à manutenção e à melhoria dos processos, e capacidades de vinculação, relacionadas às trocas de conhecimento com fornecedores, clientes e instituições. Para o autor, essas capacidades não são adquiridas automaticamente com a compra de equipamentos, mas resultam de esforços deliberados de aprendizagem, cuja intensidade varia entre empresas e entre países conforme os incentivos, as instituições e os investimentos em formação de pessoas.

Bell e Pavitt (1993) aprofundaram essa análise ao distinguir a capacidade de produção, entendida como o conjunto de equipamentos, especificações e competências necessárias para operar uma tecnologia em determinado nível de eficiência, da capacidade tecnológica, que envolve os recursos necessários para gerar e gerenciar mudanças técnicas. Os autores sustentam que muitas experiências de industrialização acumularam rapidamente capacidade de produção sem desenvolver, na mesma proporção, a capacidade de modificar e aperfeiçoar as tecnologias adquiridas. A consequência é a dependência prolongada de fontes externas para qualquer alteração relevante nos processos. Essa distinção oferece um critério analítico preciso para o caso em estudo, pois permite perguntar não apenas se a linha brasileira passou a operar, mas se a equipe local desenvolveu condições para modificar e melhorar o processo.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

No contexto brasileiro, Figueiredo (2002) examinou duas siderúrgicas e mostrou que diferenças nas trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas estavam associadas às diferenças na forma como cada empresa conduzia seus processos de aprendizagem, incluindo a aquisição externa de conhecimento, a socialização interna e a codificação do aprendizado. O autor demonstrou ainda que essas trajetórias tinham reflexos mensuráveis no desempenho operacional, o que confere à aprendizagem tecnológica um significado econômico concreto. O estudo é particularmente relevante porque evidencia, em empresas instaladas no Brasil, que a origem externa da tecnologia não determina, por si só, o grau de domínio que a organização receptora alcançará, sendo os processos internos de aprendizagem o fator que diferencia trajetórias aparentemente semelhantes.

Ernst e Kim (2002) analisaram as redes globais de produção como veículos de difusão de conhecimento para fornecedores e unidades locais. Segundo os autores, as empresas que coordenam essas redes transferem conhecimento a seus parceiros porque precisam que eles atendam a padrões técnicos crescentes, mas o aproveitamento desse conhecimento depende da capacidade absortiva local e do esforço de aprendizagem dos receptores. A manufatura eletrônica sob contrato é um exemplo característico dessa lógica, pois suas unidades produzem para clientes que definem especificações rigorosas e que, com frequência, transferem processos inteiros entre plantas localizadas em diferentes continentes. A unidade de Sorocaba integrava uma rede dessa natureza, o que explica tanto a disponibilidade de uma planta de referência na Malásia quanto o padrão de transferência adotado.

A posição do Brasil na cadeia fotovoltaica global acrescenta uma dimensão estratégica a essa discussão. O relatório da International Energy Agency (2022) mostra que a manufatura fora da China permanece limitada e concentrada em poucos países do Sudeste Asiático, cuja inserção foi impulsionada por investimentos chineses. A expansão da demanda brasileira, estimulada pela regulamentação da geração distribuída pela Agência Nacional de Energia Elétrica (2012) e pela Lei nº 14.300 (Brasil, 2022), não foi acompanhada por uma base manufatureira equivalente. Nesse contexto, cada experiência de implantação de linhas de fabricação no país representa também uma oportunidade de formação de competências técnicas escassas, cujo valor ultrapassa o horizonte de um único projeto e alcança a capacidade nacional de operar, manter e aperfeiçoar tecnologias associadas à transição energética.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

6 A METROLOGIA DE TESTE NA MANUFATURA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A fabricação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino compreende, em linhas gerais, a interligação das células em séries, a montagem do conjunto entre o vidro frontal e a camada posterior de proteção, a laminação sob calor e vácuo para encapsulamento, a instalação da moldura e da caixa de junção e os testes finais. Embora a sequência seja conhecida, a qualidade do produto depende de parâmetros finos de processo e de verificações cuja confiabilidade é crítica. Jordan e Kurtz (2013), ao compilarem cerca de dois mil registros de degradação de módulos em campo, obtidos ao longo de aproximadamente quarenta anos, encontraram taxa mediana de degradação de 0,5% ao ano. Em produtos cuja garantia de desempenho se estende por décadas, defeitos não detectados na fábrica podem se converter em perdas de geração e em reclamações ao longo de toda a vida útil do sistema.

O principal ensaio de desempenho realizado ao final da linha é a medição da curva característica de corrente e tensão do módulo sob iluminação artificial, executada em simuladores solares pulsados, conhecidos na indústria como Flash. Esses equipamentos reproduzem, por frações de segundo, uma irradiância controlada, e a partir da curva medida são determinados parâmetros como a potência máxima, a corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto, que definem a classificação comercial de cada módulo. A International Electrotechnical Commission (2020), na norma IEC 60904-9, estabelece critérios de classificação dos simuladores segundo a correspondência espectral, a não uniformidade da irradiância sobre a área de ensaio e a instabilidade temporal, características que afetam diretamente a exatidão da potência atribuída a cada unidade produzida.

Além do ensaio de desempenho, as linhas realizam testes de segurança elétrica e de integridade. O ensaio de isolamento, realizado nos equipamentos conhecidos como HIPOT, verifica se a isolação entre as partes condutoras e a moldura suporta tensões elevadas sem falha, conforme os procedimentos de ensaio previstos na norma IEC 61215-2 (International Electrotechnical Commission, 2021). A inspeção por eletroluminescência, conhecida pela sigla EL, consiste em aplicar uma polarização direta ao módulo e registrar, com câmeras sensíveis ao infravermelho próximo, a radiação emitida pelas células. Fuyuki et al. (2005) demonstraram que a intensidade dessa emissão está relacionada ao comprimento de difusão dos portadores minoritários, o que tornou a técnica um instrumento eficaz para revelar microfissuras, regiões inativas e outras falhas invisíveis à inspeção visual convencional.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

A importância desses ensaios é reforçada pelo levantamento de Köntges et al. (2014), elaborado no âmbito de um programa de cooperação da International Energy Agency, que sistematizou os modos de falha de módulos fotovoltaicos observados em campo, como microfissuras nas células, descoloração e delaminação do encapsulante e falhas em interconexões. Parte desses modos tem origem em defeitos de fabricação que poderiam ser detectados por ensaios adequados no fim da linha. Isso confere aos equipamentos de teste uma função que ultrapassa o controle de qualidade convencional. Eles constituem a principal fonte de informação sobre o comportamento do processo, e os dados que produzem alimentam decisões de ajuste em etapas anteriores, como a interligação das células e a laminação, o que torna sua confiabilidade uma condição para a própria melhoria do processo.

Essa função informacional só se realiza se as medições forem confiáveis, o que remete aos fundamentos da metrologia. O Vocabulário Internacional de Metrologia, publicado pelo Joint Committee for Guides in Metrology (2012), define a rastreabilidade metrológica como a propriedade de um resultado de medição que pode ser relacionado a uma referência por meio de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição. O guia para a expressão da incerteza de medição, do mesmo comitê (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008), estabelece os procedimentos para avaliar e combinar os componentes de incerteza. Em uma linha fotovoltaica, a calibração do simulador solar com módulos de referência e a verificação periódica de suas condições são, portanto, o elo que conecta a potência declarada de cada produto a padrões reconhecidos internacionalmente.

7 OS FLUXOS DE APRENDIZAGEM NA MALÁSIA E NA SUÍÇA

A primeira unidade incorporada do caso foi a participação, por aproximadamente dois meses, no treinamento e no ramp-up de uma unidade da mesma empresa em Johor Bahru, na Malásia, com foco nos processos de manufatura de módulos fotovoltaicos, na manutenção e na configuração e implantação dos equipamentos de teste. Ferdows (1997), ao analisar o papel estratégico das fábricas no exterior, mostrou que unidades inicialmente concebidas para produzir a baixo custo podem evoluir para funções mais elevadas, nas quais passam a contribuir com conhecimento para a rede. A unidade malaia atuou, nesse caso, como fonte de conhecimento para a planta brasileira. Em estudo posterior, Ferdows (2006) argumenta que o conhecimento de produção muda continuamente e que o mecanismo de transferência deve ser

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

escolhido conforme o grau de codificação desse conhecimento e a velocidade com que ele se altera.

O valor da experiência na Malásia decorreu sobretudo da participação em um ramp-up real, e não em um ambiente simulado. Terwiesch e Bohn (2001) mostram que o período de ramp-up concentra intensa aprendizagem de processo, mas também uma tensão entre utilizar a capacidade para produzir e utilizá-la para experimentar e compreender o processo. Pisano (1996) distingue a aprendizagem anterior à produção, obtida em laboratório ou em escala piloto, da aprendizagem pela prática, que ocorre na própria planta, e mostra que esta última é indispensável quando o conhecimento científico disponível não permite prever o comportamento do processo em escala industrial. A inicialização dos equipamentos em uma linha em funcionamento expôs o autor a situações reais de ajuste, falha e correção que dificilmente seriam reproduzidas em sala de aula, o que corresponde ao modo de socialização descrito por Nonaka (1994).

A literatura sobre curvas de aprendizagem ajuda a dimensionar o valor econômico desse tipo de experiência. Wright (1936) observou, na indústria aeronáutica, que o custo de mão de obra por unidade diminuía a uma taxa aproximadamente constante a cada duplicação da produção acumulada. Argote e Epple (1990) mostraram que esse fenômeno se manifesta em diversos setores, que as taxas de aprendizagem variam consideravelmente entre organizações e que parte do conhecimento adquirido pode ser transferida entre plantas, mas também pode se depreciar ao longo do tempo. A participação no ramp-up de uma planta que já havia percorrido parte de sua curva de aprendizagem permitiu à unidade brasileira beneficiar-se de experiência acumulada em outro local, o que equivale, nos termos desses autores, a iniciar a própria curva em um patamar mais avançado.

A segunda unidade incorporada foi o treinamento técnico de 40 horas no fabricante dos simuladores solares, em Neuchâtel, na Suíça, voltado à instalação, manutenção, configuração, calibração e análise dos resultados de medição dos equipamentos Flash, concluído com aproveitamento de 100% na avaliação final. A escolha do fabricante como fonte de conhecimento é coerente com o argumento de Von Hippel (1994) sobre a informação aderente. O conhecimento sobre os princípios de funcionamento, os limites de operação e os procedimentos de calibração de um simulador solar está concentrado em quem o projetou, e a forma mais eficiente de acessá-lo é o contato direto com essa fonte. Os temas do treinamento correspondem precisamente aos elementos metrológicos discutidos na seção anterior, cuja compreensão é condição para a confiabilidade dos dados de produção.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

A eficácia de um treinamento, contudo, não se mede apenas pelo desempenho na avaliação final. Kirkpatrick e Kirkpatrick (2006) propõem quatro níveis de avaliação, a reação dos participantes, a aprendizagem, a mudança de comportamento no trabalho e os resultados para a organização, e advertem que os dois últimos são os mais relevantes e os mais difíceis de verificar. Baldwin e Ford (1988), em revisão sobre a transferência do treinamento, mostram que a aplicação do que foi aprendido depende das características do participante, do desenho do treinamento e do ambiente de trabalho, e que a manutenção do aprendizado ao longo do tempo exige oportunidades efetivas de aplicação. A análise dos fluxos de aprendizagem na Malásia e na Suíça, portanto, só se completa com o exame do que foi feito com esse conhecimento na unidade brasileira, objeto da seção seguinte.

8 A INTERNALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO NA UNIDADE BRASILEIRA

De volta ao Brasil, o autor assumiu a responsabilidade pela implantação, instalação e manutenção dos equipamentos de teste da fábrica de Sorocaba e pela inicialização desses equipamentos no ramp-up local. A primeira evidência de transformação do conhecimento foi a elaboração dos checklists de manutenção preventiva dos equipamentos Flash, HIPOT e EL, com definição de frequências e de itens de verificação relativos à segurança, aos motores, às correias e às calibrações. Esse trabalho corresponde ao que Nonaka e Takeuchi (1995) descrevem como externalização e combinação, pois converteu em documentos estruturados o conhecimento adquirido na Malásia e na Suíça, combinando-o com as informações dos manuais dos fabricantes e com as condições específicas da linha brasileira. Os checklists tornaram-se, assim, o principal veículo de difusão desse conhecimento para além do profissional treinado.

A gestão da manutenção ampliou o alcance dessa transformação. O autor passou a gerir o plano de manutenção, a programar as paradas da linha, a acompanhar a equipe técnica e a administrar o estoque e o ciclo de vida das peças de reposição. Nakajima (1988), ao formular a manutenção produtiva total, mostrou que a eficiência global dos equipamentos depende da redução simultânea das perdas por paradas, por velocidade e por defeitos, e que essa redução exige a participação das equipes de operação e de manutenção. No caso dos equipamentos de teste, a manutenção adquire uma dimensão adicional, uma vez que um equipamento disponível, mas descalibrado, continua produzindo dados, porém dados enganosos. A integração entre os conhecimentos metrológicos obtidos na Suíça e a rotina de manutenção constituiu, portanto, um elemento central da transformação do conhecimento.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

O repasse às equipes técnica e operacional representou o momento em que o conhecimento deixou de pertencer a um indivíduo e passou a integrar as rotinas da organização. Argote e Epple (1990) alertam que o conhecimento organizacional pode se depreciar quando depende de poucas pessoas e não é incorporado a procedimentos, ferramentas e práticas compartilhadas. Argote e Ingram (2000) acrescentam que a transferência só se completa quando provoca mudanças nos reservatórios de conhecimento da unidade receptora. A combinação de documentação estruturada, treinamento das equipes e acompanhamento da execução das atividades buscou exatamente reduzir esse risco, distribuindo o conhecimento entre pessoas, procedimentos e ferramentas, de modo que a operação da linha não dependesse exclusivamente da presença do profissional que havia participado dos treinamentos internacionais.

A evidência mais clara de capacidade absortiva realizada, no sentido de Zahra e George (2002), veio com a condução de projetos de melhoria contínua na própria linha. O autor participou de onze projetos Kaizen na empresa, voltados à redução de refugo, ao aumento de rendimento, à redução de defeitos em laminadores e à redução de paradas, e atuou como colíder de um projeto dedicado à redução de defeitos no processo de laminação associados aos parâmetros de receita do equipamento. Conduzido por equipe formada por Produção, Qualidade e Engenharia de Equipamentos com base no ciclo PDCA, o projeto registrou aumento de 1% no rendimento, redução de 92% dos defeitos associados à receita, aumento de 30% na produtividade e economia anual estimada de aproximadamente US$ 437 mil, segundo os registros de encerramento.

Esses resultados são significativos à luz da distinção de Bell e Pavitt (1993). A operação de uma linha importada, com equipamentos instalados e mantidos segundo os padrões recebidos, corresponde à capacidade de produção. A modificação dos parâmetros de um processo crítico, a partir da análise de dados gerados por equipamentos de teste cuja confiabilidade era assegurada localmente, corresponde a uma forma inicial de capacidade tecnológica, ainda restrita ao aperfeiçoamento incremental, mas qualitativamente distinta da mera reprodução de rotinas. A trajetória observada é compatível com a evidência de Figueiredo (2002) de que os processos internos de aprendizagem, e não apenas a origem externa da tecnologia, determinam o grau de domínio alcançado pela organização receptora, e de que esse domínio se traduz em ganhos operacionais mensuráveis.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

CONCLUSÃO

Este artigo analisou o processo de transferência e internalização de conhecimento técnico na implantação de uma linha de fabricação de módulos fotovoltaicos em Sorocaba, a partir de dois fluxos internacionais de aprendizagem, o ramp-up em uma unidade da mesma empresa na Malásia e o treinamento técnico no fabricante suíço dos simuladores solares. A análise, apoiada nas teorias de transferência de conhecimento, capacidade absortiva e acumulação de capacidades tecnológicas, permitiu identificar o que o processo ensinou sobre a formação de competências locais.

A primeira lição é que o conhecimento de processo mais valioso para a implantação de uma linha fotovoltaica é predominantemente tácito e só pode ser adquirido pela imersão em operações reais. A participação no ramp-up da unidade malaia expôs o profissional a situações de ajuste, falha e correção que nenhum manual descreveria por completo, confirmando as proposições de Polanyi (1966), Kogut e Zander (1993) e Argote e Ingram (2000) sobre o papel das pessoas na transferência. A documentação recebida foi útil, mas apenas como complemento da experiência adquirida no ambiente de produção.

A segunda lição refere-se à metrologia. O domínio da configuração, da calibração e da análise das medições dos simuladores solares exigiu acesso direto ao fabricante do equipamento, onde esse conhecimento estava concentrado. Esse aprendizado mostrou-se indispensável porque a confiabilidade dos dados de teste condiciona tanto a classificação comercial dos módulos quanto a capacidade de identificar e corrigir problemas nas etapas anteriores do processo produtivo. Em outras palavras, a metrologia deixou de ser tratada como atividade de suporte e passou a ser reconhecida como fundamento das decisões de processo.

A terceira lição diz respeito à codificação. Os checklists e planos de manutenção preventiva elaborados na unidade brasileira converteram o conhecimento adquirido no exterior em instrumentos que podiam ser compartilhados, ensinados e auditados. Sem essa etapa de transformação, o conhecimento permaneceria restrito ao profissional treinado e estaria sujeito à depreciação apontada por Argote e Epple (1990), com risco permanente de perda em casos de rotatividade. A codificação, portanto, foi o que permitiu que um aprendizado individual se convertesse em capacidade da organização.

A quarta lição é que a medida mais consistente do êxito de uma transferência não está na partida da linha, mas na capacidade posterior de melhorá-la. A redução de 92% nos defeitos associados aos parâmetros de laminação, obtida por uma equipe local com base em dados produzidos por

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

equipamentos mantidos e calibrados localmente, indica a passagem da capacidade de produção para uma forma inicial de capacidade tecnológica, nos termos de Bell e Pavitt (1993). Trata-se de um avanço ainda incremental, mas que distingue uma equipe que apenas reproduz rotinas recebidas de outra capaz de aperfeiçoá-las.

O estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. Trata-se de um caso único, analisado retrospectivamente por um profissional que participou do processo, o que exige cautela quanto a vieses de interpretação, ainda que a análise tenha privilegiado registros documentais. Além disso, não foram avaliados formalmente os níveis de mudança de comportamento e de resultados dos treinamentos, nos termos de Kirkpatrick e Kirkpatrick (2006), e os achados constituem generalizações analíticas, e não estatísticas. Estudos com outras plantas e outros períodos seriam necessários para verificar a regularidade dos padrões aqui observados.

Do ponto de vista prático, os resultados sugerem que empresas e formuladores de políticas interessados em ampliar a base manufatureira fotovoltaica no Brasil deveriam tratar a formação de pessoas como componente central de qualquer projeto de implantação. A imersão em plantas de referência, o contato com fabricantes de equipamentos críticos e a exigência de codificação e repasse do conhecimento adquirido são mecanismos de baixo custo relativo e de alto impacto sobre a autonomia técnica das unidades locais.

Como agenda de pesquisa, recomenda-se a realização de estudos de casos múltiplos que comparem diferentes plantas fotovoltaicas instaladas no país, a avaliação longitudinal da retenção do conhecimento transferido após a saída dos profissionais treinados no exterior e a investigação do papel das universidades e dos centros de formação técnica na construção da capacidade absortiva prévia. Esses estudos poderiam esclarecer em que condições experiências pontuais de transferência se convertem em capacidade tecnológica duradoura para o setor.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF: ANEEL, 2012.

ARGOTE, Linda; EPPLE, Dennis. Learning curves in manufacturing. **Science**, Washington, v. 247, n. 4945, p. 920-924, 1990.

ARGOTE, Linda; INGRAM, Paul. Knowledge transfer: a basis for competitive advantage in firms. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 150-169, 2000.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

BALDWIN, Timothy T.; FORD, J. Kevin. Transfer of training: a review and directions for future research. **Personnel Psychology**, Hoboken, v. 41, n. 1, p. 63-105, 1988.

BELL, Martin; PAVITT, Keith. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. **Industrial and Corporate Change**, Oxford, v. 2, n. 2, p. 157-210, 1993.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

COHEN, Wesley M.; LEVINTHAL, Daniel A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative Science Quarterly**, Ithaca, v. 35, n. 1, p. 128-152, 1990.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, Briarcliff Manor, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

ERNST, Dieter; KIM, Linsu. Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation. **Research Policy**, Amsterdam, v. 31, n. 8-9, p. 1417-1429, 2002.

FERDOWS, Kasra. Making the most of foreign factories. **Harvard Business Review**, Boston, v. 75, n. 2, p. 73-88, 1997.

FERDOWS, Kasra. Transfer of changing production know-how. **Production and Operations Management**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 1-9, 2006.

FIGUEIREDO, Paulo N. Does technological learning pay off? Inter-firm differences in technological capability-accumulation paths and operational performance improvement. **Research Policy**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 73-94, 2002.

FUYUKI, Takashi et al. Photographic surveying of minority carrier diffusion length in polycrystalline silicon solar cells by electroluminescence. **Applied Physics Letters**, Melville, v. 86, n. 26, 262108, 2005.

GUPTA, Anil K.; GOVINDARAJAN, Vijay. Knowledge flows within multinational corporations. **Strategic Management Journal**, Chichester, v. 21, n. 4, p. 473-496, 2000.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60904-9**: photovoltaic devices: part 9: classification of solar simulator characteristics. 3. ed. Geneva: IEC, 2020.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61215-2**: terrestrial photovoltaic (PV) modules: design qualification and type approval: part 2: test procedures. 2. ed. Geneva: IEC, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Solar PV global supply chains**. Paris: IEA, 2022.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **JCGM 100:2008**: evaluation of measurement data: guide to the expression of uncertainty in measurement. Sèvres: BIPM, 2008.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **JCGM 200:2012**: international vocabulary of metrology: basic and general concepts and associated terms (VIM). 3. ed. Sèvres: BIPM, 2012.

JORDAN, Dirk C.; KURTZ, Sarah R. Photovoltaic degradation rates: an analytical review. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Chichester, v. 21, n. 1, p. 12-29, 2013.

KIM, Linsu. Crisis construction and organizational learning: capability building in catching-up at Hyundai Motor. **Organization Science**, Catonsville, v. 9, n. 4, p. 506-521, 1998.

KIRKPATRICK, Donald L.; KIRKPATRICK, James D. **Evaluating training programs**: the four levels. 3. ed. San Francisco: Berrett-Koehler, 2006.

KOGUT, Bruce; ZANDER, Udo. Knowledge of the firm and the evolutionary theory of the multinational corporation. **Journal of International Business Studies**, London, v. 24, n. 4, p. 625-645, 1993.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 08/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 23/10/2026

KÖNTGES, Marc et al. **Review of failures of photovoltaic modules**. [S. l.]: International Energy Agency, 2014. Report IEA-PVPS T13-01:2014.

LALL, Sanjaya. Technological capabilities and industrialization. **World Development**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM**: total productive maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1988.

NONAKA, Ikujiro. A dynamic theory of organizational knowledge creation. **Organization Science**, Catonsville, v. 5, n. 1, p. 14-37, 1994.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. **The knowledge-creating company**: how Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press, 1995.

PISANO, Gary P. Learning-before-doing in the development of new process technology. **Research Policy**, Amsterdam, v. 25, n. 7, p. 1097-1119, 1996.

POLANYI, Michael. **The tacit dimension**. Garden City: Doubleday, 1966.

SZULANSKI, Gabriel. Exploring internal stickiness: impediments to the transfer of best practice within the firm. **Strategic Management Journal**, Chichester, v. 17, n. S2, p. 27-43, 1996.

TEECE, David J. Technology transfer by multinational firms: the resource cost of transferring technological know-how. **The Economic Journal**, Oxford, v. 87, n. 346, p. 242-261, 1977.

TERWIESCH, Christian; BOHN, Roger E. Learning and process improvement during production ramp-up. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 1-19, 2001.

VON HIPPEL, Eric. "Sticky information" and the locus of problem solving: implications for innovation. **Management Science**, Catonsville, v. 40, n. 4, p. 429-439, 1994.

WRIGHT, T. P. Factors affecting the cost of airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, New York, v. 3, n. 4, p. 122-128, 1936.

YIN, Robert K. **Case study research and applications**: design and methods. 6. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2018.

ZAHRA, Shaker A.; GEORGE, Gerard. Absorptive capacity: a review, reconceptualization, and extension. **Academy of Management Review**, Briarcliff Manor, v. 27, n. 2, p. 185-203, 2002.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.