13

INFRAESTRUTURA RESILIENTE A ALTERAÇÕES E DESASTRES CLIMÁTICOS EM ECONOMIAS EMERGENTES E EM DESENVOLVIMENTO: RISCOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

ABHIJIT DATEY,
RAINA SINGH,
AISHWARYA RAJ[1]

A NECESSIDADE DE INFRAESTRUTURAS RESILIENTES A ALTERAÇÕES E DESASTRES CLIMÁTICOS (DRI)

A infraestrutura permite o bom funcionamento da sociedade, ao apoiar suas principais funções socioeconômicas. É também um fator-chave para o crescimento econômico e, por isso, a maioria dos mercados emergentes e economias em desenvolvimento (MEEDs) dá grande ênfase ao investimento em infraestrutura. Em 2024, a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), que indica o investimento em ativos fixos, atingiu US$ 29 trilhões, contra apenas US$ 723 bilhões em 1970 (World Ban, s.d.), o que demonstra que houve um investimento maciço em infraestrutura em todo o mundo para apoiar o crescimento econômico e a urbanização. É importante observar, também, que mais de 90% da infraestrutura

1 Este capítulo é uma contribuição da Coalizão para Infraestruturas Resilientes a Desastres (CDRI), com sede em Nova Délhi, Índia. A CDRI é uma coalizão formada por 53 países, 12 organizações internacionais e o setor privado. A CDRI se dedica a aumentar a resiliência dos sistemas de infraestrutura face aos riscos climáticos e de desastres. Seus membros têm acesso a conhecimentos especializados globais, financiamento, suporte técnico, oportunidades de pesquisa, soluções inovadoras e melhores práticas internacionais. Mais informações estão disponíveis em www.cdri.world.

DOI: 00000000/00

global foi construída apenas nos últimos 50 anos, e que a maior parte da infraestrutura necessária até 2050 ainda vai ser construída (CDRI, 2023a).

Uma estimativa sugere que o investimento acumulado em infraestrutura deverá atingir até US$ 106 trilhões até 2040. Desse montante, uma parcela significativa, de US$ 61 trilhões, será destinada à infraestrutura de transporte e energia. Dois terços desse investimento em infraestrutura serão destinados à Ásia, região que abriga as principais economias em desenvolvimento do mundo, passando por um rápido processo de industrialização, urbanização e crescimento populacional. Como a urbanização também concentra um grande número de pessoas em uma área geográfica relativamente menor, os riscos de desastres também se concentram. A urbanização está gerando uma demanda excepcionalmente alta na África e no Sul da Ásia, especialmente por sistemas de transporte público, serviços públicos e conectividade digital (McKinsey, 2025). Além da construção de infraestrutura para o futuro, serão necessários cerca de US$ 9,2 trilhões em investimentos anuais para suprir as deficiências atuais de infraestrutura existentes e alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A maior parte desse investimento será necessária nos países de baixa e média renda (PBMR), embora ainda seja substancialmente menor do que nos países de média e alta renda (PMAR) (CDRI, 2023a).

Por um lado, os investimentos em infraestrutura estão aumentando em todo o mundo, mas, por outro lado, as perdas relacionadas à infraestrutura dos ativos existentes estão crescendo exponencialmente, corroendo os investimentos. Estima-se que as perdas globais em infraestrutura, calculadas como Perda Anual Média (PAM) decorrentes de riscos climáticos e geológicos, ultrapassem 700 bilhões (CDRI, 2023a), embora essa seja apenas uma estimativa das perdas patrimoniais e não reflita o quadro completo. Os custos globais dos danos causados por desastres chegam a cerca de US$ 2,3 trilhões por ano, quando se incluem os impactos indiretos e sobre os ecossistemas (UNDRR, 2025). O relatório “Global Infrastructure Resilience (GIR) 2025” do CDRI destaca que países como as Filipinas, Bangladesh e Barbados podem perder mais de 8% do seu PIB devido a danos causados por desastres

entre 2025 e 2050. O relatório também afirma que os custos indiretos decorrentes de falhas na infraestrutura causadas por desastres são mais de sete vezes superiores aos custos dos danos diretos à própria infraestrutura. Esses custos econômicos indiretos abrangem desde interrupções no comércio até a perda de empregos e de oportunidades de subsistência. Além disso, as perdas econômicas decorrentes de interrupções em serviços como eletricidade ou água são muito maiores do que os danos diretos aos bens (CDRI, 2025a). O cenário de risco também está mudando devido aos impactos das mudanças climáticas. Riscos como ciclones tropicais, inundações e incêndios florestais estão se tornando mais intensos, e novos riscos emergentes, como o calor extremo, cujos impactos ainda são pouco estudados e estão sendo investigados. O risco para os ativos de infraestrutura aumenta devido a eventos de risco mais frequentes ou intensos. Dados da Base de Dados de Eventos de Emergência (Emergency Events Database – EM-DAT) indicam que, em 2024, o número de desastres registrados atingiu 393, superando a média anual das duas décadas anteriores, e as perdas econômicas diretas dispararam para mais de US$ 240 bilhões (CRED, 2025). Mais recentemente, em 2025, eventos extremos como o ciclone Remal no sul da Ásia, as enchentes na Bolívia e o furacão Melissa demonstram que os danos à infraestrutura vão muito além da destruição física, afetando mercados, meios de subsistência e serviços essenciais.

Assim como os custos dos desastres têm sido subestimados, o mesmo ocorre com os benefícios do investimento na redução do risco de desastres e em infraestruturas resilientes a desastres (Disaster Resilient Infrastructure – DRI). Hallegatte et al. (2019) demonstram que investir em infraestrutura resiliente em países de baixa e média renda gera US$ 4 em benefícios para cada US$ 1 investido — com um benefício líquido total de US$ 4,2 trilhões. O CDRI (2023a) refere-se a isso como o "dividendo da resiliência", definido como o conjunto completo de benefícios que podem ser obtidos com o investimento na resiliência da infraestrutura. Entre eles, estão a prevenção de perdas de ativos, a redução de interrupções nos serviços, a melhoria da qualidade e da confiabilidade dos serviços públicos, a aceleração do crescimento econômico e do desenvolvimento social, a redução

das emissões de carbono, o aumento da biodiversidade, a melhoria da qualidade do ar e da água e um uso mais eficiente do solo (CDRI, 2023a). Só é possível colher os frutos dessa resiliência se ela estiver integrada em todo o ciclo de vida de um projeto de infraestrutura, desde o planejamento e o projeto, passando pelo financiamento, comissionamento, operação e manutenção.

A resiliência é a capacidade das sociedades de resistir a, adaptar-se a e recuperar-se de perturbações — sejam elas causadas por desastres naturais, mudanças climáticas ou choques sistêmicos — e determina o ritmo e a equidade do progresso global. Uma infraestrutura resiliente é fundamental para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável, a adaptação às mudanças climáticas e o crescimento inclusivo (UNDRR, 2025). A CDRI (2023b) define infraestrutura resiliente a desastres como

> "*sistemas e redes de infraestrutura, seus componentes e ativos, bem como os serviços que prestam, capazes de resistir e absorver os impactos de desastres, manter níveis adequados de continuidade de serviço durante crises e recuperar-se rapidamente, de modo a reduzir ou prevenir riscos futuros*".

A infraestrutura não é apenas um conjunto de ativos individuais, mas também uma rede de ativos interligados que, em conjunto, prestam serviços a indivíduos, comunidades, empresas e à economia. A resiliência dessas redes e serviços depende de sua capacidade de: i) resistir e absorver os choques causados pelos impactos de desastres; ii) responder aos danos causados por esses desastres e manter níveis básicos de continuidade do serviço durante as crises; e iii) restaurar os serviços o mais rapidamente possível, de forma a incorporar as lições aprendidas com o desastre e reduzir perdas e danos futuros. Nesses três níveis (ativos de infraestrutura, serviços e usuários), a resiliência deve ser vista não apenas como a capacidade de absorver o próximo desastre, mas também como a capacidade de responder a ele e se recuperar. O fortalecimento da resiliência em ativos e sistemas de infraestrutura exige uma visão abrangente do ciclo de resiliência e a incorporação oportuna das lições aprendidas para reduzir perdas e danos futuros e "reconstruir melhor".

Para aumentar a resiliência dos sistemas de infraestrutura, é necessário que os órgãos públicos e os gestores de ativos reforcem não apenas a capacidade de absorver desastres, mas também a capacidade de responder a choques e se recuperar rapidamente. A Figura 1 mostra o quadro de desenvolvimento da resiliência que fortalece as três capacidades e pode ser aplicado tanto ao nível de um ativo de infraestrutura específico quanto às redes de infraestrutura e seus usuários. Além disso, apresenta uma representação gráfica do dividendo da resiliência.

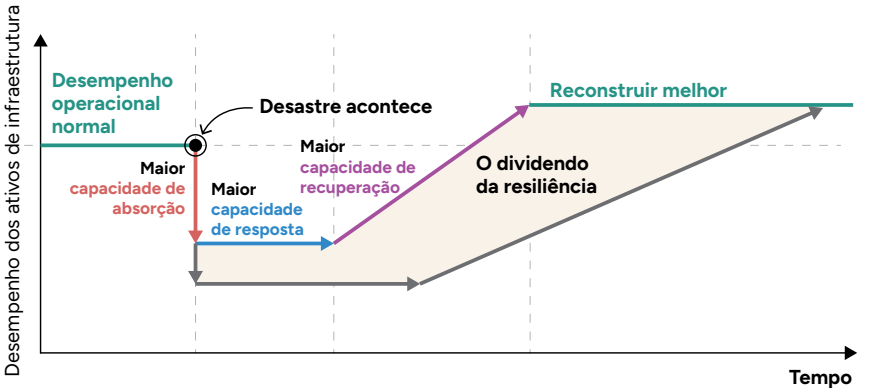


Figura 1: Estrutura DRI e as três capacidades para uma infraestrutura resiliente. *Fonte: CDRI, 2025a.*

A Figura 1 também ilustra a natureza dessas três capacidades em relação ao desempenho dos ativos e ao tempo.

- A capacidade de absorção é uma perda repentina de desempenho ou da capacidade de prestar serviços devido às perdas e danos sofridos após um evento de risco. Por exemplo, edifícios resistentes a terremotos, diques, linhas de energia reforçadas contra tempestades, materiais ignífugos e estradas e pontes que permanecem intactas diante de desastres e ajudam um ativo a absorver os impactos.
- A capacidade de resposta é a capacidade de um ativo de infraestrutura ou rede reagir mais rapidamente a quais-

quer impactos causados por desastres. Essa capacidade é sensível ao tempo. Quanto menor for o tempo de resposta, maior será o ganho em resiliência, representado pela área entre a recuperação normal e a recuperação resiliente. Por exemplo, sistemas de alerta precoce, geradores de reserva, sistemas móveis de purificação de água, controle dinâmico de tráfego e redes de comunicação integradas podem permitir uma resposta rápida. Uma boa capacidade de resposta significa que a recuperação e a continuidade dos serviços essenciais também podem ser iniciadas mais rapidamente.

- A capacidade de recuperação é a velocidade com que os ativos de infraestrutura são totalmente restaurados e seus serviços são restabelecidos aos níveis anteriores ao desastre. No gráfico, isso é representado pela inclinação da curva de recuperação — uma inclinação mais acentuada indica uma recuperação mais rápida e uma maior capacidade de recuperação, enquanto uma inclinação mais suave sugere uma capacidade mais fraca. Equipes de reparo pré-organizadas, unidades de infraestrutura modulares, fundos para desastres, ferramentas de avaliação de danos e estratégias inteligentes de reconstrução podem facilitar a rápida recuperação da infraestrutura após um desastre. Para melhorar ainda mais o desempenho dos ativos, as medidas de recuperação podem incluir lições aprendidas com as falhas ocorridas e estratégias para "reconstruir melhor", o que, por sua vez, melhora o desempenho operacional normal e aumenta os ganhos decorrentes da resiliência.

O risco relacionado à infraestrutura é maior nas economias desenvolvidas, uma vez que a maior parte da infraestrutura já está construída e exigirá medidas como adaptação e manutenção aprimorada para continuar operacional em meio a cenários de risco em constante mudança — especialmente diante da intensificação dos riscos decorrentes dos impactos das mudanças climáticas. Portanto, embora as perdas previstas decorrentes de desastres sejam maiores, suas capacidades financeiras e tecnológicas — ou

seja, a capacidade de responder e se recuperar — também são maiores para superar esses desafios. As economias em desenvolvimento e emergentes estão enfrentando desafios em várias frentes ao mesmo tempo. O primeiro desafio é investir estrategicamente em novas infraestruturas para impulsionar o crescimento econômico, reduzir o déficit de infraestrutura e combater as desigualdades subjacentes no acesso. O segundo desafio consiste em institucionalizar e tornar obrigatórias avaliações de risco robustas, bem como revisar as normas e códigos existentes para construção e manutenção, a fim de integrar a resiliência em todo o ciclo de vida da infraestrutura. As economias em desenvolvimento e emergentes, especialmente na Ásia, na África e na América do Sul, estão enfrentando impactos muito mais graves das mudanças climáticas; portanto, o terceiro desafio consiste em reduzir as perdas decorrentes de desastres nos ativos existentes e disponibilizar recursos financeiros para atender a essas contingências emergentes. Esses três desafios também criam oportunidades e vantagens para a adoção antecipada de infraestruturas resilientes a mudanças e desastres climáticos. Para os países em desenvolvimento e emergentes, qualquer novo investimento em infraestrutura que não reforce a resiliência é como derramar água em uma cesta de bambu.

A próxima seção explica o panorama dos riscos de infraestrutura nas economias em desenvolvimento e emergentes em relação aos riscos globais. O estudo analisa mais detalhadamente as perdas previstas em infraestrutura, os setores afetados e os riscos que suscitam preocupação, além de quantificar o impacto dos desastres em termos de perda de ativos e de perda do PIB.

PANORAMA DOS RISCOS DE INFRAESTRUTURA EM ECONOMIAS EM DESENVOLVIMENTO E EMERGENTES

Existem vários modelos e plataformas de avaliação de riscos disponíveis que podem ser consultados e utilizados para esse fim. O Modelo Global de Risco (GRM) da UNDRR, um componente essen-

cial do Relatório de Avaliação Global (Global Assessment Report – GAR), fornece dados sobre riscos, exposição e vulnerabilidade. O Modelo Global de Terremotos[2], que oferece ferramentas de modelagem de risco de acesso aberto e conjuntos de dados sobre vulnerabilidade relacionados a perigos e riscos sísmicos. Embora esses modelos não tivessem como objetivo explorar especificamente o risco de infraestrutura em termos financeiros.

Em 2023, a Coalizão para Infraestruturas Resilientes a Desastres (Coalition for Disaster Resilient Infrastructure – CDRI) lançou a plataforma de dados do Modelo Global de Risco de Infraestrutura e Índice de Resiliência (Global Infrastructure Risk Model and Resilience Index – GIRI)[3], que mede e analisa o risco e a resiliência das infraestruturas nos principais setores, incluindo energia, transporte, telecomunicações, água, educação e sistemas de saúde em todo o mundo. A plataforma fornece avaliações detalhadas de risco para ativos de infraestrutura expostos a riscos relacionados ao clima, apoiando a tomada de decisões baseadas em evidências para a redução do risco de desastres, a adaptação climática e o desenvolvimento de infraestruturas resilientes em todos os países e níveis de renda. O GIRI fornece indicadores de risco financeiro na forma de Perda Média Anual (PAM) a nível global e nacional — ou seja, a estimativa dos passivos contingentes em setores de infraestrutura crítica decorrentes de desastres (Figura 2). O GIRI também pode ser aplicado nos níveis regional, nacional e subnacional, aproveitando dados mais precisos e o conhecimento local. Embora as avaliações de risco regionais proporcionem uma compreensão mais profunda das variações geográficas e setoriais, as avaliações subnacionais podem contribuir significativamente para o planejamento preventivo e a proteção de ativos (CDRI, 2025a).

2 O Modelo Global de Terremotos (Global Earthquake Model – GAM) está disponível em https://www.globalquakemodel.org/products.

3 Todos os dados apresentados nesta seção estão disponíveis na plataforma de dados GIRI, disponível no link https://giri.unepgrid.ch/. O GIRI foi desenvolvido por um consórcio de organizações científicas e técnicas, nomeadamente a Fundação de Pesquisa CIMA (Itália), a INGENIAR Risk Intelligence (Colômbia), o UNEP-GRID de Genebra (Suíça) e o Instituto Geotécnico Norueguês (Noruega). A plataforma é de acesso aberto.

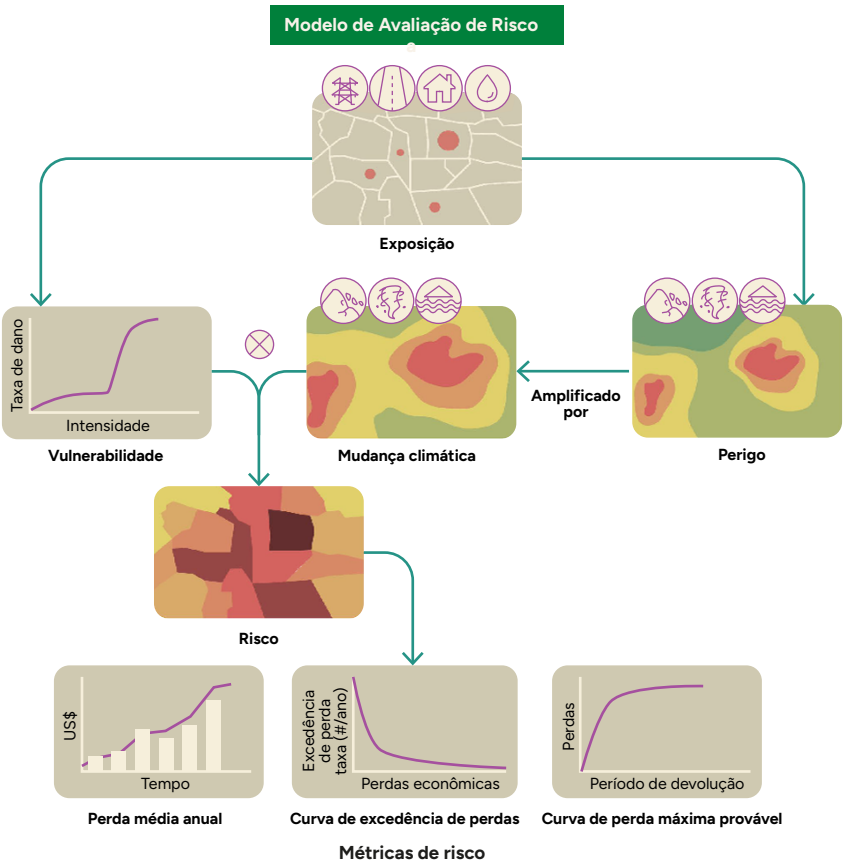


Figura 2: Metodologia GIRI. *Fonte: CDRI, 2025a.*

O GIRI abrange 6 tipos de riscos (terremotos, tsunamis, deslizamentos de terra, inundações, ciclones tropicais e secas) e 9 setores de infraestrutura (energia, rodovias e ferrovias, portos e aeroportos, água e esgoto, telecomunicações, petróleo e gás, educação, saúde e edifícios). Todos os dados utilizados nesta seção do capítulo são provenientes da plataforma de dados GIRI, e a análise é de autoria dos autores, salvo indicação em contrário.

Esta seção analisa a infraestrutura e o risco de desastres nas 50 principais economias em desenvolvimento e emergentes do mundo. Para selecionar os países, foram coletados os dados do Produto Interno Bruto (PIB) (IMF, s.d.) de todos os países referentes ao ano de 2023, e os países foram selecionados com base em sua classificação como emergentes e em desenvolvimento, conforme

determinado pelo Fundo Monetário Internacional (FMI). A lista de países e seus respectivos PIBs é apresentada na Tabela 1. Esses países, juntos, representam 34% do PIB mundial em 2023, totalizando US$ 36,8 trilhões.

N.°	Países pré-selecionados	PIB em bilhões de dólares americanos (2023)	N.°	Países pré-selecionados	PIB em bilhões de dólares americanos (2023)
1	China	18270,4	26	Porto Rico	118,4
2	Índia	3638,5	27	Angola	112,5
3	Brasil	2191,1	28	Quênia	108,2
4	México	1798,3	29	Guatemala	104,4
5	Indonésia	1371,2	30	Uzbequistão	102,6
6	Turquia	1153,3	31	Venezuela	102,4
7	Argentina	648,9	32	Costa Rica	86,5
8	Tailândia	515,9	33	Croácia	84,4
9	Nigéria	487,3	34	Panamá	83,8
10	Bangladesh	451,5	35	Sri Lanka	83,7
11	Filipinas	437,1	36	Gana	80,5
12	Vietnã	433,0	37	Costa do Marfim	79,6
13	Irã	421,5	38	Tanzânia	78,4
14	Malásia	399,9	39	Uruguai	78,0
15	Egito	393,8	40	Azerbaijão	72,4
16	África do Sul	381,3	41	Congo	67,4
17	Paquistão	336,6	42	Turcomenistão	62,8
18	Peru	271,8	43	Mianmar	62,3
19	Iraque	270,8	44	Uganda	52,0
20	Cazaquistão	261,8	45	Jordânia	51,2
21	Argélia	248,1	46	Camarões	49,3
22	Etiópia	159,8	47	Tunísia	48,5
23	Marrocos	146,1	48	Bahrein	46,2
24	Equador	121,1	49	Bolívia	45,5
25	República Dominicana	120,8	50	Zimbábue	44,4

Tabela 1: Lista de países em desenvolvimento e emergentes pré-selecionados. *Fonte: (IM, s.d.).*

Levando em conta as mudanças climáticas, a perda média anual global em infraestrutura, incluindo edifícios, situa-se atualmente entre US$ 732 e US$ 845 bilhões, o que representa cerca de 14% do crescimento do PIB mundial em 2021-2022. As economias de baixa e média renda detêm cerca de metade desse passivo contingente (CDRI, 2023a). A Tabela 2 apresenta a composição do risco de infraestrutura a nível global, em termos dos principais setores de infraestrutura, em comparação com os mercados emergentes e em desenvolvimento. A perda média anual global de US$ 751,4 bilhões, de acordo com o cenário climático atual, enquanto a perda média anual para os países emergentes e em desenvolvimento é de US$ 308 bilhões. Os países emergentes e em desenvolvimento representam 34% do PIB mundial, mas 47% da perda média anual global, o que indica um elevado nível de risco inerente à infraestrutura nessas economias.

Setores de infraestrutura	% média anual global de perdas	% média anual de perdas dos países em desenvolvimento
Construções	55,8	69,0
Educação	4,8	7,6
Saúde	0,1	0,1
Petróleo e gás	0,9	0,7
Portos e Aeroportos	2,0	1,1
Energia	14,3	10,0
Estradas e ferrovias	13,5	7,5
Telecomunicações	7,3	3,3
Água e Esgoto	1,3	0,6
Total geral	**100,0**	**100,0**

Tabela 2: Perda média anual por setor de infraestrutura. *Fonte: Análise dos dados do GIRI pelos autores (https://giri.unepgrid.ch/).*

Os países em desenvolvimento e emergentes (PDE) também apresentam um risco mais elevado no setor da construção, incluindo infraestruturas de educação e saúde, que representam 76% do total das Perdas Médias anuais (PMA). No que diz respeito aos setores críticos de infraestrutura, os setores de energia e transporte[4] represen-

4 O setor de transportes abrange estradas, ferrovias, portos e aeroportos.

tam 10% (US$ 31 bilhões) e 8,6% (US$ 23 bilhões) do total da PMA, o que é bastante significativo. O setor de transportes é complexo, com muitos componentes e subcomponentes em termos de ativos, redes e partes interessadas, o que torna a construção da resiliência uma tarefa colaborativa. O Quadro 1 apresenta medidas para promover a resiliência da infraestrutura de transporte.

Quadro 1: Alcançando a resiliência do setor de transportes

O setor de transportes representa US$ 90 trilhões e mais de 50% do valor total exposto das infraestruturas em todo o mundo, e enfrenta uma vulnerabilidade grave às perturbações climáticas. No Sul da Ásia, o setor de transportes contribui com 4% a 8% do PIB da região, e os ativos de transporte, avaliados em aproximadamente US$ 575 bilhões, estão expostos a riscos climáticos desde 2022. Esses riscos incluem danos físicos diretos, bem como interrupções nas redes de transporte. Uma falha na infraestrutura de transporte pode desencadear uma série de falhas em cadeia nos sistemas econômicos interconectados. Essas perturbações afetam as cadeias de abastecimento, a indústria e a produção econômica em geral. Diante das mudanças climáticas, sistemas de transporte resilientes são a base para a estabilidade e o crescimento econômicos.

O CDRI e o BCG (2024) recomendam seis medidas para promover a resiliência da infraestrutura de transporte:

- Elaborar planos de resiliência nacionais e subnacionais para alinhar medidas políticas entre setores, incluindo a infraestrutura de transporte, com metas mensuráveis.
- Incorporar avaliações de riscos climáticos na fase de pré-viabilidade de projetos de infraestrutura em áreas verdes e em áreas já ocupadas, a fim de integrar essas avaliações ao planejamento de infraestrutura.
- Estabelecer códigos e normas abrangentes para a infraestrutura de transporte, a fim de garantir a aplicação uniforme de medidas resilientes às mudanças climáticas em todos os projetos.
- Incorporar a resiliência nos processos de aquisição para projetos de infraestrutura.
- Incorporar a resiliência no desenvolvimento de competências para formar uma força de trabalho capacitada para projetar e gerenciar infraestruturas resilientes às mudanças climáticas por meio de módulos específicos.
- Aumentar a disponibilidade e o acesso ao financiamento para ampliar a implementação de projetos resilientes em infraestrutura de transporte por meio da inovação nas fontes e nos instrumentos de financiamento.

O terceiro setor crítico é o das telecomunicações, que representa 3,3% (US$ 10 bilhões) do total da perda média anual (PMA) nos países emergentes e em desenvolvimento. É também um dos setores que registrará um aumento considerável nos investimentos, devido à crescente importância dos dados na era da economia digital e das infraestruturas de transferência e processamento de dados, para dar continuidade ao impulso crescente em Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT). Embora a avaliação de riscos para o setor de telecomunicações ainda esteja em fase inicial, é importante que a resiliência seja incorporada à infraestrutura de telecomunicações existente e à que está por vir. O Quadro 2 apresenta detalhes sobre o Quadro de Avaliação do Risco de Desastres e da Resiliência (Disaster Risk and Resilience Assessment Framework – DRRAF) para o setor de telecomunicações.

Quadro 2: Estrutura de Avaliação de Risco de Desastres e Resiliência (DRRAF) para o Setor de Telecomunicações

O CDRI, em parceria com o Departamento de Telecomunicações da Índia (Department of Telecommunications – DoT) e a Autoridade Nacional de Gestão de Desastres (National Disaster Management Authority – NDMA), desenvolveu um Quadro de Avaliação de Risco e Resiliência a Desastres (Disaster Risk and Resilience Assessment Framework – DRRAF), especificamente adaptado ao setor de telecomunicações, juntamente com um roteiro prático para as partes interessadas nesses níveis. O projeto adota uma abordagem em escala de sistema, abrangendo a conectividade da primeira milha, da meia milha e da última milha, sistemas de infraestrutura interconectados e uma variedade de opções tecnológicas em diferentes áreas geográficas (montanhas, planícies e regiões costeiras). O estudo propõe medidas de resiliência a desastres em cinco dimensões: Planejamento e Projeto Técnico, Operações e Manutenção, Políticas, Instituições e Processos (PIPs), Arranjos Financeiros e Conhecimento Especializado. Esse quadro abrangente é, portanto, relevante para todos os países emergentes e em desenvolvimento.

O Índice de Resiliência a Desastres serve como uma matriz essencial para orientar as mudanças necessárias nas políticas, no planejamento e na concepção de infraestruturas, nos procedimentos operacionais, nas estratégias de manutenção, no fortalecimento de capacidades e nos investimentos financeiros. O índice incorpora dez indicadores-chave, incluindo boa governança, capacidade de aprendizagem, criatividade, flexibilidade, capacidade de resposta, redundância, robustez, fluxos de informação, falha segura e interdependência *(CDRI, 2025d)*

No que diz respeito aos riscos, a Tabela 3 compara o cenário global com o das economias emergentes e em desenvolvimento. Inundações, terremotos e ciclones destacam-se como os três riscos mais importantes, representando até 96% do total das perdas médias anuais (PAMs). Nos países em desenvolvimento e emergentes, os riscos de enchentes são consideravelmente maiores. As inundações dos últimos anos tornaram-se o risco mais devastador, causando prejuízos anuais de bilhões de dólares. Das 10 inundações mais devastadoras, 6 ocorreram entre 2010 e 2024, e os prejuízos totais causados pelos desastres chegaram a US$ 281 bilhões em 2023 (AON, 2024). As perdas relacionadas a inundações nos países emergentes e em desenvolvimento representam 66% do total das perdas médias anuais, totalizando US$ 203 bilhões (Tabela 3).

Riscos	% média anual de perdas global	% média anual de perdas dos países em desenvolvimento
Ciclone	14,9	10,6
Terremoto	26,7	19,9
Inundação	51,7	66,0
Deslizamento de terra[5]	4,9	2,6
Tsunami	1,8	0,9
Total geral	**100,0**	**100,0**

Tabela 3: Perda média anual por tipo de risco: global e países em desenvolvimento e emergentes. *Fonte: Análise dos dados do GIRI pelos autores (https://giri.unepgrid.ch/).*

A Figura 3 mostra a distribuição dos danos causados pelas inundações por setor, e fica claramente visível que as inundações são, de fato, o risco mais devastador nos países em desenvolvimento e emergentes, embora seu impacto nos diversos setores não seja o mesmo. Por exemplo, no setor de portos e aeroportos, mais de 70% da perda média anual é causada por ciclones, enquanto até 60% da

5 O GIRI avalia os riscos de deslizamentos de terra exclusivamente no setor de estradas e ferrovias. Portanto, as perdas em infraestrutura decorrentes de deslizamentos de terra podem estar subestimadas.

perda média anual no setor de água e esgoto é causada por terremotos. Para o setor elétrico, terremotos e ciclones são tão devastadores quanto as enchentes, representando até 50% da perda anual média do setor. Portanto, é pertinente que as abordagens setoriais para integrar a resiliência se concentrem nos riscos mais relevantes para um determinado setor. 30% das perdas médias anuais do setor elétrico, que totalizam US$ 9,6 bilhões, são causadas por ciclones. A Quadro 3 apresenta algumas recomendações e medidas para reforçar a resiliência do setor elétrico contra ciclones.

Quadro 3: Aumentar a resiliência do setor elétrico diante de eventos climáticos extremos

Um estudo detalhado realizado pelo CDRI e pela GRIDCO (2024) no estado de Odisha, na Índia, recomenda que as partes interessadas sigam estas etapas para aumentar a resiliência do setor elétrico diante de eventos climáticos extremos, como ciclones tropicais.

- Atualizar os códigos e normas de construção para a infraestrutura de transmissão e distribuição.
- Atualizar os mapas de zoneamento eólico e instalar anemômetros nas subestações de energia.
- Acompanhar dados históricos para aumentar a resiliência sistêmica.
- Criar plataformas de acesso a dados sobre riscos climáticos físicos
- Incorporar o componente de "resiliência" em todos os marcos normativos, incluindo medidas não estruturais
- Desenvolver um quadro intersetorial para reforçar a colaboração entre as partes interessadas e implementar programas de treinamento para uma preparação eficaz para desastres
- Aproveitar mecanismos inovadores de seguro, avaliar as implicações das cláusulas de força maior, reexaminar os passivos contingentes e outras obrigações contratuais

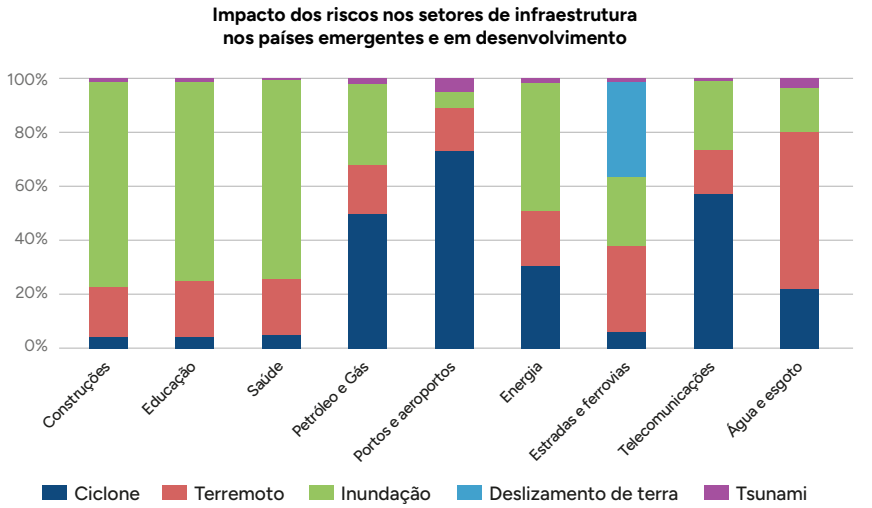


Figura 3: Impacto dos riscos nos setores de infraestrutura nos países emergentes e em desenvolvimento. *Fonte: Análise dos dados do GIRI pelos autores (https://giri.unepgrid.ch/).*

A nível regional, nos países emergentes e em desenvolvimento, há muitas diferenças na forma como a perda média anual se distribui. A África representa 2,2%, mesmo com 16 países na lista, o que deixa claro que existe um enorme déficit de infraestrutura nos países africanos; isso também constitui uma oportunidade oportuna para incorporar a resiliência, já que a maior parte da infraestrutura necessária ainda precisa ser construída. A Ásia, com seus 20 países, representa 83% do total das perdas médias anuais, com 77% do PIB, o que se traduz em um grande passivo contingente, na necessidade de modernizar a infraestrutura existente e na necessidade de investir em novas infraestruturas. A região abrange duas das maiores economias do mundo, a Índia e a China, que, juntas, representam 58% do total da perda média anual e 59% do PIB dos países emergentes e em desenvolvimento. Nove países da América do Sul e do Caribe representam 9% da perda média anual, sendo que o Brasil responde por 60% do PIB e 47% da perda média anual.

Portanto, o aumento da resiliência das infraestruturas na Índia, na China e no Brasil tem o potencial de beneficiar um grande número de pessoas e de impulsionar o crescimento econômico.

Região	Número de países	Perda média anual (em milhões de dólares)	% perda média anual	PIB (2023, bilhões de dólares)	% do PIB
África	16	6722	2,2	2537	6,9
Ásia	20	256546	83,2	28443	77,2
América do Sul e Caribe	9	28960	9,4	3666	10,0
Outros[6]	5	16159	5,2	2189	5,9
Total geral	**50**	**308387**	**100,0**	**36835**	**100,0**

Tabela 4: Panorama regional dos riscos de infraestrutura.

Além da África, que apresenta uma perda média anual mais baixa e uma perda média anual relativa mais elevada, os Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEID) também dispõem de menos infraestruturas e apresentam uma vulnerabilidade muito maior. Os PEID estão sofrendo impactos mais graves das mudanças climáticas, e suas infraestruturas e serviços já existentes estão sob ameaça ainda maior. O Quadro 4 apresenta o panorama dos riscos de infraestrutura na África e nos PEID.

6 Outros representam cinco países, a saber: a Croácia na Europa, o México na América do Norte e a Guatemala, o Panamá e Porto Rico na América Central.

Quadro 4: Resiliência das infraestruturas na África e nos Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEID)

O CDRI (2025b, 2025c) dedica especial atenção aos países da África e aos Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEID) que não apresentam uma perda média anual muito elevada, mas sim uma perda média anual relativa mais elevada. Esses documentos de trabalho abordam a análise de riscos de infraestrutura para todos os 55 países da África e os 55 países e territórios PEID.

Existem também diferenças inerentes entre os riscos de infraestrutura em nível global por setor na África e nos PEID. Por exemplo, nos PEID, o setor de telecomunicações registra a maior perda média anual, com US$ 589 milhões, seguido de perto pelo setor de energia, com US$ 536 milhões. Essa vulnerabilidade é agravada pela dependência de redes rodoviárias únicas, sistemas centralizados de geração de energia e infraestrutura portuária limitada. As ilhas do Caribe apresentam uma perda média anual mais elevada, enquanto as ilhas do Pacífico e as regiões AIMS (África, Oceano Índico, Mediterrâneo e Mar da China Meridional) registram perdas médias anuais consideravelmente mais baixas, mas enfrentam riscos relativos maiores devido à capacidade fiscal limitada e à elevada exposição a riscos.

Na África, os países menores, com menos infraestrutura, sofrem perdas significativas em suas economias quando a perda média anual é comparada ao seu PIB. A perda média anual representa 1,5% do PIB do Lesoto, 1,25% do PIB das Ilhas Maurício e 1% do PIB das Comores. Entre os setores de infraestrutura, o setor elétrico apresenta a maior perda média anual, de US$ 844 milhões, seguido pelo setor de telecomunicações, com US$ 418 milhões, e pelo setor de rodovias e ferrovias, com US$ 282 milhões. Na África, os países com a maior perda média anual em infraestrutura e edifícios são a África do Sul (US$ 1,7 bilhão), a Nigéria (US$ 1,1 bilhão) e a Argélia (US$ 1 bilhão). Esses são valores elevados que os governos africanos precisam arcar anualmente para a reparação e reconstrução das infraestruturas danificadas. A África não pode arcar com essas perdas.

A perda média anual (PAM) é um indicador financeiro da perda provável de ativos e será sempre menor para países que não possuem muitos ativos de infraestrutura, embora isso não signifique que tais países sejam menos vulneráveis. Os países com menos ativos podem estar muito mais expostos a riscos em comparação com os países que possuem um número maior de ativos. Portanto,

para esses países, a perda média anual (PAM) relativa é um indicador importante, que corresponde à relação entre a perda média anual e o valor exposto dos ativos. Os países com menos ativos podem apresentar uma perda média anual mais baixa e uma perda média anual relativa alta. A Figura 4 mostra a perda média anual em comparação com a perda média anual relativa em todos os países emergentes e em desenvolvimento. A maioria dos países da África não apresenta uma perda média anual muito elevada, mas sim uma perda média anual relativamente alta, comparados aos da América do Sul. Países sul-americanos como o Equador e a Bolívia podem não apresentar uma perda média anual muito elevada, mas suas perdas médias anuais relativas são comparáveis às de países como a Índia e a China.

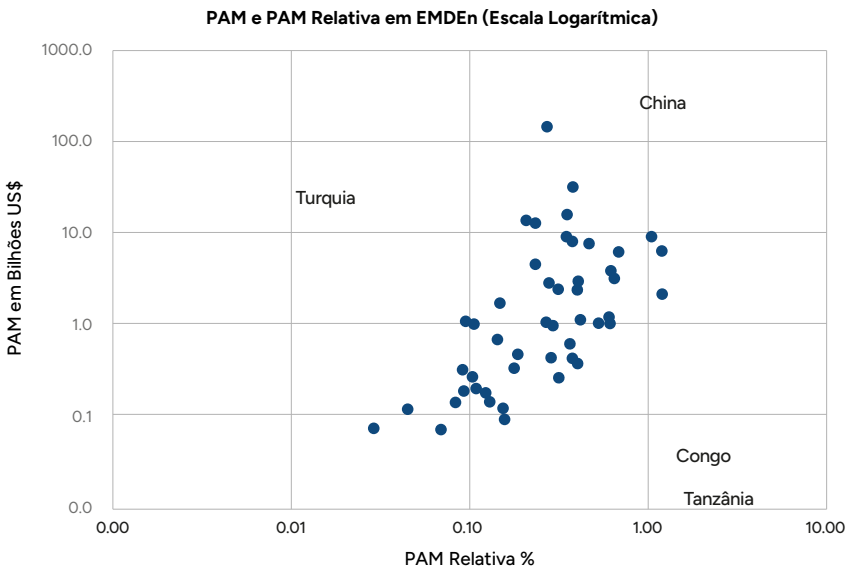


Figura 4: Perda média anual (PAM) e perda média anual relativa (PAM Relativa) nos países emergentes e em desenvolvimento. *Fonte: Análise dos dados do GIRI pelos autores (https://giri.unepgrid.ch/).*

Por isso, é importante que os países em desenvolvimento e emergentes se comprometam a reforçar suas capacidades de absor-

ver os impactos de desastres, investindo em novas infraestruturas resilientes às mudanças climáticas e aos desastres, institucionalizando avaliações de risco e adotando novas normas e códigos. Os países em desenvolvimento com maior perda média anual relativa terão de investir também na modernização dos ativos existentes para reduzir seus passivos contingentes. A elevada vulnerabilidade climática, aliada à necessidade de investir em infraestrutura e no crescimento econômico, cria uma oportunidade para que os países emergentes e em desenvolvimento incorporem a resiliência em suas políticas.

A última seção deste capítulo apresenta uma lista abrangente das principais lições e recomendações que ajudarão os países emergentes e em desenvolvimento a alcançar a resiliência das infraestruturas diante de desastres e a colher os benefícios dessa resiliência.

COLHENDO OS FRUTOS DA RESILIÊNCIA: ALCANÇANDO A DRI NOS MERCADOS EMERGENTES E EM DESENVOLVIMENTO

A discussão a seguir apresenta sete lições práticas fundamentais para que os países e os governos possam colher os benefícios da resiliência por meio do fortalecimento da resiliência dos sistemas de infraestrutura.

É fundamental compreender melhor os riscos.

A avaliação dos riscos de infraestrutura é o primeiro passo para viabilizar ações de DRI. As avaliações de risco podem fornecer aos governos e aos ministérios responsáveis pela infraestrutura a base de evidências necessária para obter uma visão geral dos riscos em diversos setores e orientar políticas e decisões de investimento nos níveis nacional e subnacional, conforme discutido com mais detalhes na última seção. Avaliações detalhadas em nível local podem ajudar as agências de desenvolvimento de infraestrutura, concessionárias de serviços públicos, operadores de ativos e agên-

cias de gestão de riscos de desastres a planejar a manutenção e as reformas, construir novos ativos resilientes e orientar a reconstrução pós-desastre.

Investir em infraestrutura resiliente pode ajudar a minimizar os custos macroeconômicos indiretos.

Falhas na infraestrutura e interrupções nos serviços decorrentes de desastres podem afetar o comércio e o turismo, prejudicar empregos e meios de subsistência e gerar despesas com reconstrução, prejudicando o desenvolvimento. A análise macroeconômica do CDRI sobre oito países distintos em diferentes regiões mostra que as perdas econômicas indiretas decorrentes de falhas na infraestrutura são, em média, 7,4 vezes maiores do que os custos diretos dos ativos danificados e podem chegar a 16 vezes em alguns países (CDRI, 2025a). Na verdade, as falhas na infraestrutura podem causar uma perda média anual de cerca de 5,2% do crescimento do PIB entre 2025 e 2050.

A análise mostra, ainda, que a velocidade da recuperação e da reconstrução influencia diretamente as consequências econômicas das falhas na infraestrutura decorrentes de desastres, com o impacto médio no PIB caindo de 7,4% no caso de uma reconstrução lenta e parcial para 3% com uma reconstrução completa ao longo de dez anos, podendo ser reduzido ainda mais para 2,3% se a reconstrução for concluída em quatro anos (CDRI, 2025a). Essa análise ressalta que investir no desenvolvimento de infraestruturas resilientes e na rápida reconstrução pós-desastre é, de fato, uma importante estratégia econômica para que os países em desenvolvimento restaurem sua capacidade produtiva e limitem a magnitude dos impactos cumulativos.

Para fortalecer a resiliência das empresas, é necessário adotar uma perspectiva da cadeia de valor e um envolvimento mais profundo.

Além dos impactos diretos em ativos físicos, como fábricas e edifícios, os efeitos em cadeia dos desastres podem interromper as operações comerciais e as cadeias de abastecimento devido a

danos em sistemas de infraestrutura essenciais e falhas nos serviços. Essas perturbações podem afetar as estruturas de emprego e a rentabilidade, com os lucros médios anuais podendo sofrer uma redução de até 15% (BCG, 2023).

Uma pesquisa recente do CDRI com mais de 500 empresas de cerca de 60 países indica que, embora 82% das grandes empresas afirmem possuir planos de continuidade, apenas metade desses planos foi testada, e cerca de 60% ainda dependem de respostas pontuais. A pesquisa também revelou que, embora a penetração dos seguros seja elevada entre as grandes empresas, mais de 40% delas não possuem cobertura suficiente para desastres, e até 77% consideram que as políticas governamentais de resiliência são inexistentes ou mal aplicadas (CDRI, 2025a).

Esses resultados destacam a crescente vulnerabilidade das empresas, os investimentos insuficientes em resiliência e a necessidade de fortalecer as capacidades e o envolvimento do governo. Além disso, a resiliência de ponta a ponta das empresas exige uma visão da cadeia de valor para reduzir o tempo de inatividade e as vulnerabilidades sistêmicas, a fim de minimizar os impactos indiretos em cascata.

As tecnologias oferecem oportunidades transformadoras.

Inovações tecnológicas, como casas resilientes impressas em 3D, satélites em órbita baixa da Terra e inteligência artificial, já estão sendo amplamente utilizadas para projetar, construir e manter ativos de infraestrutura. A análise do CDRI sobre mais de 35 novas tecnologias e 100 estudos de caso em todo o mundo, realizada como parte do relatório GIR 2025, mostra que essas ferramentas transformarão radicalmente as infraestruturas resilientes na próxima década (Stone, 2025).

Entre uma ampla gama de aplicações orientadas para o DRI, as tecnologias podem ser aproveitadas principalmente para aprimorar a cadeia de valor dos dados, melhorar a conectividade, a comunicação e a colaboração, e fortalecer os ativos de infraestrutura e o desempenho da rede (Figura 5). Por exemplo, a Defesa Civil do Brasil utilizou um painel online para monitorar e divulgar

os impactos do desastre no Rio Grande do Sul[7]. Na Índia, um sistema baseado em inteligência artificial que personaliza os alertas de ciclones para cada família, utilizando dados sobre o tipo de residência, localização e exposição a riscos, foi implementado antes da chegada do ciclone Yaas em 2021 (Ajmal, 2021)

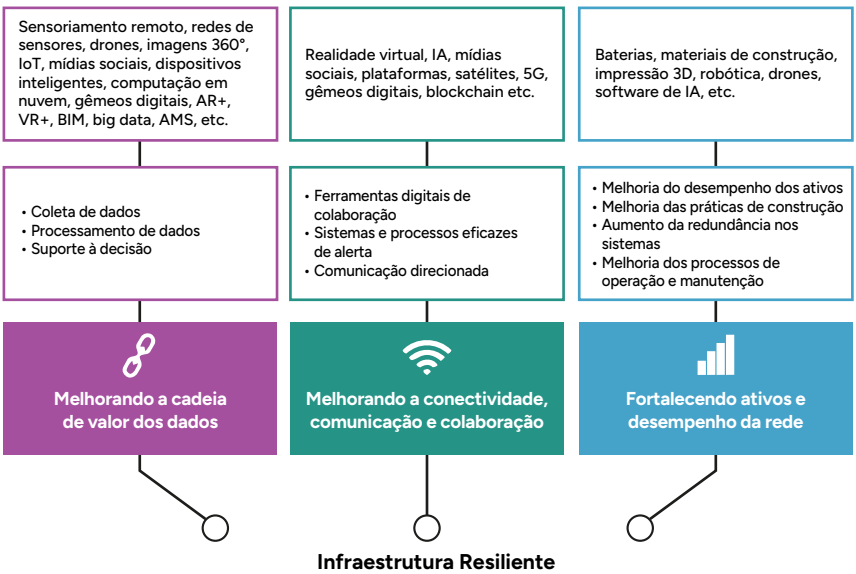


Figura 5: Tecnologias para infraestruturas resilientes. *Fonte: Stone, 2025.*

O custo das novas tecnologias costuma ser uma fração do custo das interrupções nos serviços de infraestrutura, uma vez que elas podem reduzir os custos de construção e manutenção dos ativos de infraestrutura; ajudar a aumentar a capacidade de absorver choques e, assim, evitar perdas; e permitir uma recuperação e reconstrução mais rápidas após a ocorrência de eventos. No entanto, os benefícios das novas tecnologias para a resiliência só serão tão eficazes quanto as competências técnicas dos usuários e as capacidades institucionais dos órgãos responsáveis pela implementação e dos operadores de infraestrutura para aproveitar todo o seu potencial. Estruturas regulatórias claras, normas e

7 Mais informações disponíveis em https://sosenchentes.rs.gov.br/inicial.

incentivos para a aplicação dos resultados tecnológicos também são fundamentais. Além disso, o fortalecimento da resiliência da infraestrutura não precisa necessariamente envolver tecnologia de ponta. Soluções simples e acessíveis, como aplicativos móveis para manutenção ou comunicação com as comunidades, podem ser igualmente eficazes.

A ampliação de soluções inovadoras, como as Soluções Baseadas na Natureza SbN, pode proporcionar resiliência com boa relação custo-benefício.

As SbN para reforçar a resiliência das infraestruturas custam, em geral, 50% menos inicialmente do que as soluções convencionais e geram um valor adicional de 28% (CDRI, 2025a).

Além de amortecer os impactos, as SbN também pode manter funções essenciais durante um desastre e facilitar uma rápida recuperação. Por exemplo, as florestas podem servir como rotas de evacuação, as zonas úmidas podem reter as águas das enchentes e as barreiras verdes podem ser utilizadas para mitigar ondas de calor ou enchentes. Além disso, as SbN também oferecem benefícios de longo prazo, incluindo ar mais puro e áreas de lazer, bem como uma economia local robusta, o que pode ser alcançado a um custo menor em comparação com a infraestrutura tradicional.

No entanto, a ampliação das SbN — passando de projetos-piloto para a implementação em larga escala — normalmente requer a combinação de soluções cinzentas, verdes e azuis, ou "soluções híbridas", que integram a previsibilidade das soluções de engenharia com a adaptabilidade e as qualidades regenerativas da natureza. Um exemplo frequentemente citado é o Programa "Espaço para o Rio" da Holanda, que utiliza um sistema complexo de soluções híbridas para aumentar a resiliência às inundações (European Climate-ADAPT, 2020).

Além disso, sua implementação, manutenção e reabilitação exigem capacidade técnica e o envolvimento de diversos setores e atores, incluindo órgãos de infraestrutura e comunidades locais. A integração em planos diretores, estratégias setoriais, procedimentos de licitação, manuais de projeto, ferramentas e contratos

de concessão, além de instrumentos financeiros bem concebidos, pode ajudar a alinhar os incentivos tanto para os atores públicos quanto para os privados (CDRI, 2025a).

O financiamento de infraestruturas resilientes requer uma abordagem em várias camadas.

O acesso a financiamento adequado é indispensável para a implementação das estratégias de DRI. Atualmente, o financiamento para a RRD é, em grande parte, reativo, sendo disponibilizado somente após os desastres causarem danos generalizados, o que deixa muitos países, especialmente as economias em desenvolvimento, com lacunas de financiamento persistentes. Estima-se que, somente os países de renda baixa e média (PIRM) enfrentem um déficit de investimento anual de cerca de US$ 3 trilhões para adaptar e modernizar infraestruturas envelhecidas, de modo a torná-las neutras em carbono e resilientes, capazes de resistir aos impactos climáticos (CDRI, 2023a).

Ao mesmo tempo, as falhas nas infraestruturas decorrentes de desastres não só causam grandes impactos econômicos, como também aumentam o peso da dívida pública e reduzem as classificações de risco de um país. Portanto, é fundamental quantificar os benefícios diretos e indiretos da resiliência por meio de ferramentas de avaliação de riscos e de análise de custo-benefício — ao tomar decisões de investimento para o desenvolvimento de novas infraestruturas, a manutenção e a modernização de ativos existentes e a reconstrução pós-desastre.

Além disso, o financiamento de infraestruturas resilientes requer uma gama de instrumentos capazes de absorver, responder e recuperar-se dos impactos de desastres, tais como uma combinação de rubricas orçamentárias específicas para resiliência, orçamentos contingentes e empréstimos, seguros e acesso rápido a doações internacionais e crédito em condições favoráveis (Figura 6). Ao mesmo tempo, uma governança sólida, normas claras de resiliência e a integração de considerações sobre o risco de desastres nas decisões dos setores público e privado — nos níveis nacional e subnacional — são necessárias para garantir que esses investimentos alcancem o máximo de eficácia.

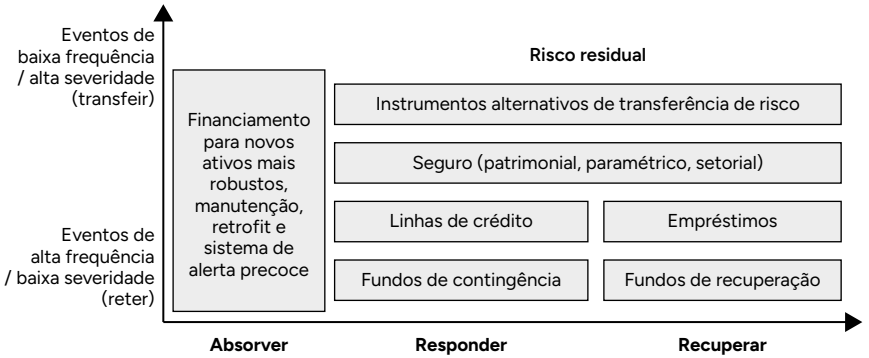


Figura 6: Panorama dos instrumentos financeiros para a resiliência das infraestruturas. *Fonte: CDRI, 2025a.*

O fortalecimento das capacidades institucionais e da governança é indispensável.

A DRI é, essencialmente, um desafio de governança e requer uma ação coordenada entre setores, órgãos e níveis de governo. Essa responsabilidade não recai apenas sobre as agências de infraestrutura; os ministérios da Fazenda, os órgãos de planejamento, as autoridades responsáveis pelo uso do solo, os governos subnacionais, os legisladores e outros prestadores de serviços desempenham um papel fundamental, além das comunidades locais e das empresas, ao integrar a resiliência em seus próprios mandatos e funções ao longo de todo o ciclo de resiliência da infraestrutura.

A colaboração entre as agências de infraestrutura e as autoridades responsáveis pela gestão de desastres também é fundamental. Planos integrados de preparação, simulados, sistemas de alerta precoce e a rápida reconstrução de infraestruturas resilientes só podem ser eficazes quando a governança é clara e as atribuições são inequívocas. No entanto, estruturas fragmentadas, sobreposição de responsabilidades e lacunas nas capacidades institucionais e humanas continuam sendo os principais obstáculos à ação em matéria de DRI e a uma resposta e recuperação eficazes.

Para compreender melhor essas lacunas, o CDRI realizou uma Pesquisa Global sobre Resiliência de Infraestrutura, que abrangeu mais de 3.000 profissionais em mais de 100 países, como

parte do relatório GIR 2025. Os resultados revelam que muitos países enfrentam escassez de pessoal qualificado, financiamento limitado e responsabilidades fragmentadas. Por exemplo, entre os 3.000 profissionais entrevistados em todo o mundo, quase 40% dos entrevistados relatam que a capacidade do setor público é insuficiente, com apenas 12% a 15% indicando o uso consistente de novas tecnologias e soluções inovadoras, como as SbN. Embora as capacidades do setor privado sejam frequentemente mais sólidas, apenas cerca de um terço dos entrevistados as considerou suficientes. Além disso, o fortalecimento de políticas, normas, códigos e regulamentações surgiu como a medida mais importante que os governos podem adotar para melhorar a resiliência (CDRI, 2025a).

Tendo em conta alguns desses desafios, surgiram recentemente várias iniciativas em todo o mundo. A infraestrutura resiliente tem sido uma área-chave de foco político no âmbito dos recentes compromissos do G20 e do BRICS, das Conferências das Partes (COPs) da UNFCCC e das plataformas globais e regionais da UNDRR. A OCDE e o Grupo do Banco Mundial, com o apoio de outros bancos multilaterais de desenvolvimento, elaboraram os Princípios de Investimento em Infraestrutura de Qualidade (QII) para orientar países e investidores a garantir que os investimentos em infraestrutura não sejam apenas financeiramente viáveis, mas também social, ambiental e economicamente sustentáveis.

O CDRI, por meio de seus mais de 60 países membros e parceiros, tem envidado esforços constantes para promover a agenda da DRI, contribuindo e impulsionando o debate político global e apoiando os governos na implementação dessas iniciativas por meio de assistência técnica e apoio programático. O desenvolvimento de capacidades por meio do compartilhamento de conhecimentos práticos e recursos — na forma de pesquisas de ponta, estudos de caso, ferramentas e treinamento — é uma área de foco fundamental para o CDRI, com o objetivo de ajudar governos, instituições e partes interessadas a desenvolver, implementar e ampliar infraestruturas resilientes aos riscos climáticos e de desastres.

REFERÊNCIAS

Ajmal, A. (2021, October 20). This non-profit is protecting vulnerable communities from the effects of climate change with AI. *Source Asia*. This non-profit is protecting vulnerable communities from the effects of climate change with AI - Source Asia

AON. (2024). *2024 Climate and Catastrophe Insight*. https://assets.aon.com/-/media/files/aon/reports/2024/climate-and-catastrophe-insights-report.pdf

Boston Consulting Group (BCG). (2023). *Coming to grips with corporate climate risk*. The Boston Consulting Group. https://web-assets.bcg.com/b4/78/8a615ed64cc496596f7c223cbc96/bcg-coming-to-grips-with-corporate-climate-risknov-2023-1.pdf

CDRI. (2023a). *Global Infrastructure Resilience: Capturing the Resilience Dividend- A Biennial Report from the Coalition for Disaster Resilient Infrastructure*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/biennial-report-on-global-infrastructure-resilience-capturing-the-resilience-dividend

CDRI (2023b). *DRI Lexicon – Shared understanding of terms that matter for Disaster Resilient Infrastructure*. Coalition for Disaster Resilient Infrastructure, New Delhi, India. https://doi.org/10.59375/cdri1001, https://lexicon.cdri.world/

CDRI and GRIDCO. (2024). *Policy Brief - Lessons from Odisha: Developing Power Sector Resilience to Extreme Weather Events in Coastal Areas*. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/power-sector-policy-brief-odisha

CDRI and Prayas. (2025). *Navigating the Indian Power Sector in the Face of Extreme Heat*. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/navigating-the-indian-power-sector-in-the-face-of-extreme-heat-a-scoping-note

CDRI and BCG. (2024). *Transport Infrastructure Reimagined: Forging Resilient Connections*. https://driconnect.cdri.world/

resources/cdri-publications/transport-infrastructure-reimagined-forging-resilient-connections

CDRI. (2025a). *Global Infrastructure Resilience 2025: Capturing the Resilience Dividend.* New Delhi. https://driconnect.cdri.world/images/resources/MainReport_GIR_2025._709102968.pdf

CDRI. (2025b). *Infrastructure Resilience in Africa: GIR-2025 Working Paper*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/infrastructure-resilience-in-africa

CDRI. (2025c). *Infrastructure Resilience in Small Island Developing States: GIR-2025 Working Paper*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/gir-2025-sids

CDRI. (2025d). *Policy Brief: National and sub-national disaster risk & resilience assessment and roadmap for telecommunication sector, India.* New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/telecom-policy-brief

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2025). *2024 Disasters in Numbers*. CRED. https://files.emdat.be/reports/2024_EMDAT_report.pdf

European Climate-ADAPT. (2020). *Room for the River Waal – Protecting the city of Nijmegen*. https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/room-for-the-river-waal-2013-protecting-the-city-of-nijmegen

IMF. (n.d.). Real GDP growth. Retrieved February 1, 2025, from https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD

Hallegatte,S., Rentschler, J.; Rozenberg, J. (2019). *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity. Sustainable Infrastructure*, Washington, D.C.: World Bank. http://hdl.handle.net/10986/31805

McKinsey & Company. (2025). *The Infrastructure Moment: Investing in the Expanding Foundations of Modern Society.* https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/infrastructure/our%20insights/the%20infrastructure%20

moment/the-infrastructure-moment-investing-in-the-expanding-foundations-of-modern-society.pdf

Stone, H. (2025). *GIR 2025 Working Paper on Technologies: Harnessing the Full Potential. Coalition for Disaster Resilient Infrastructure (CDRI).* https://cdri.world/resilience-dividend/global-infrastructure-resilience-report-second-edition/.

United Nations (UN). (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024.* https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/

UNDRR. (2025). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2025.* https://www.undrr.org/media/106862/download?startDownload=20260208

World Bank. (n.d.). Gross Fixed Capital Formation (Current US$) Retrieved February 1, 2025, from https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.FTOT.CD?end=2024&start=1960&view=chart.

Endereço eletrônico:

https://giri.unepgrid.ch/

13

CLIMATE AND DISASTER RESILIENT INFRASTRUCTURE IN EMERGING AND DEVELOPING ECONOMIES: RISKS, CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

ABHIJIT DATEY,
RAINA SINGH,
AND AISHWARYA RAJ[1]

THE NEED FOR CLIMATE AND DISASTER RESILIENT INFRASTRUCTURE (DRI)

Infrastructure enables a well-functioning society by supporting its key socio-economic functions. It is also a key driver of economic growth, and hence most emerging market and developing economies (EMDEs) put a high impetus on infrastructure investment. In the year 2024, Gross Fixed Capital Formation (GFCF), which indicates investment in fixed assets, reached $29 trillion from just $723 billion in 1970 (World Bank, n.d.), which indicates that there has been massive infrastructure investment across the globe to support economic growth and urbanisation. It is also important to note that more than 90 per cent of the glo-

1 This chapter is contributed by the Coalition for Disaster Resilient Infrastructure (CDRI), headquartered in New Delhi, India. CDRI is a coalition of 53 countries and 12 international organizations, and the private sector. CDRI is dedicated to enhancing the resilience of infrastructure systems to climate and disaster risks. Its members benefit from access to global expertise, funding, technical support, research opportunities, innovative solutions, and international best practices. More information is available on www.cdri.world

DOI: 00000000/00

bal infrastructure has been built in the last 50 years alone, and most of the infrastructure that will be required by 2050 is yet to be built (CDRI,2023a).

An estimate suggests that cumulative infrastructure investment is expected to reach as high as $106 trillion by 2040. Of those, a major share of $61 trillion will be of transport and energy infrastructure. Two-thirds of this infrastructure investment will be received by Asia, which has the major developing economies of the world experiencing rapid industrialisation, urbanisation, and population growth. As urbanisation also concentrates a large number of people in a relatively smaller geographic area, disaster risks are concentrated. Urbanization is creating exceptionally high demand in Africa and South Asia, especially for public transit systems, utilities, and digital connectivity (McKinsey, 2025). Apart from constructing infrastructure for the future, about $9.2 trillion of annual investment will be required to address currently existing infrastructure deficits and achieve the Sustainable Development Goals (SDGs). Most of this investment will be necessary in low- and middle-income countries (LMICs), although it is still substantially lower than in the middle- and high-income countries (MHICs) (CDRI, 2023a).

On one hand, investment in infrastructure is growing across the world, but on the other hand, infrastructure losses to existing assets are growing exponentially, eroding investments. Global Infrastructure losses estimated as Average Annual Loss (AAL) due to climate and geo-hazards are estimated to be above 700 billion (CDRI, 2023a), although this is only an estimation of asset loss and does not paint the entire picture. Global costs of damages due to disasters are about $2.3 trillion annually when indirect and ecosystem impacts are included (UNDRR,2025). CDRI's Global Infrastructure Resilience (GIR) 2025 report points out that countries such as the Philippines, Bangladesh, and Barbados may lose more than 8 per cent of their GDP to disaster losses between 2025 and 2050. It also states that indirect costs incurred by infrastructure failures due to disasters are more than seven times higher than the costs of the direct damage to the infrastructure itself. These indirect economic costs include everything from interrup-

tions in trade to lost jobs and livelihood opportunities. In addition to it, the economic losses due to disruptions of services such as electricity or water are much higher than the direct damage to assets (CDRI, 2025a). The hazard risk scenario is also changing with the impacts of climate change. Hazards such as tropical cyclones, floods, and wildfires are becoming more intense, and new emerging hazards, such as extreme heat, the impacts of which are less studied and are being researched. Risk to infrastructure assets increases due to more frequent or intense hazard events. Data from the Emergency Events Database (EM-DAT) indicates that, in 2024, recorded disaster events reached 393, above the previous two-decade annual average, and direct economic losses surged to over $240 billion (CRED, 2025). More recently, in 2025, extreme events such as Cyclone Remal in South Asia, floods in Bolivia, and Hurricane Melissa demonstrate that infrastructure damage goes far beyond physical destruction, disrupting markets, livelihoods, and essential services.

As the costs of disasters have been under-estimated, so have been the benefits of investing in disaster risk reduction and disaster resilient infrastructure (DRI). Hallegatte *et al.* (2019) demonstrate that investing in resilient infrastructure in low- and middle--income countries yields $4 in benefits for every $1 invested – with a total net benefit of $4.2 trillion. CDRI (2023a) refers to it as the "resilience dividend," which is defined as the full range of benefits possible from investing in infrastructure resilience. These include avoided asset loss, reduced service disruption, improved quality and reliability of public services, accelerated economic growth and social development, reduced carbon emissions, enhanced biodiversity, improved air and water quality, and more efficient land use (CDRI, 2023a). It is only possible to reap this resilience dividend if resilience is embedded in the entire lifecycle of an infrastructure project, all the way from planning and designing, financing, commissioning, operating, and maintaining.

Resilience is the ability of societies to withstand, adapt to, and recover from disruptions—whether caused by natural hazards, climate change, or systemic shocks—and determines the pace and equity of global progress. Resilient infrastructure lies at the heart of

achieving sustainable development goals, climate adaptation, and inclusive growth (UNDRR, 2025). CDRI (2023b) defines disaster-resilient infrastructure as

> *infrastructure systems and networks, the components, and assets thereof, and the services they provide, that are able to resist and absorb disaster impacts, maintain adequate levels of service continuity during crises, and swiftly recover in such a manner that future risks are reduced or prevente.*

Infrastructure is not just a collection of individual assets but also a network of connected assets that collectively provide services to individuals, communities, businesses, and the economy. The resilience of these networks and services depends on their capacity to i) resist and absorb the shocks caused by disasters impacts; ii) respond to the damages caused by those disasters and maintain basic levels of service continuity during crises; and iii) restore services as quickly as possible in a way that incorporates lessons learned from the disaster and reduces future loss and damage. At these three levels (infrastructure assets, services, and users), resilience should be seen not only as the capacity to absorb the next disaster but also as the ability to respond to and recover from it. Building resilience in infrastructure assets and systems requires a comprehensive view of the resilience cycle and timely incorporation of lessons learnt to reduce future losses and damage, and "build back better".

Building the resilience of infrastructure systems requires agencies and asset managers to strengthen not only the capacity to absorb disasters but also the ability to respond to shocks and recover quickly. Figure 1 shows the resilience-building framework that strengthens the three capacities and could be applied at the level of an individual infrastructure asset, as well as to infrastructure networks and their users. It also provides a graphical representation of the resilience dividend.

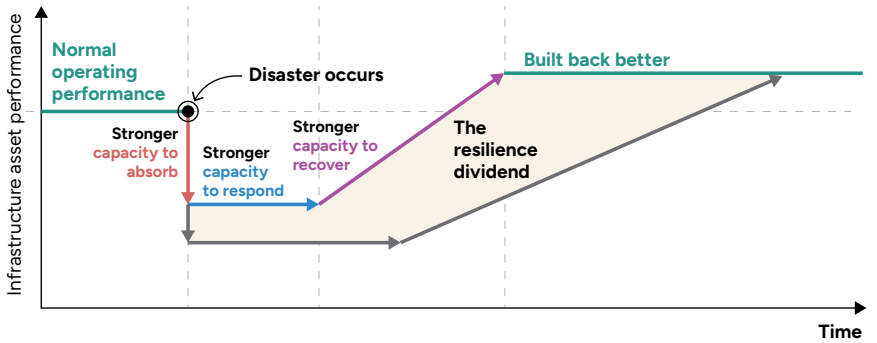


Figure 1: DRI Framework and the three capacities for resilient infrastructure. *Source: CDRI, 2025a.*

Figure 1 also represents the nature of these three capacities with respect to asset performance and time.

- The capacity to absorb is a sudden loss in performance or in the capacity to provide services owing to the loss and damage experienced after a hazard event. For example, earthquake-resilient buildings, levees, storm-hardened power lines, fire-retardant materials, and roads and bridges that stay intact in the face of disasters and help an asset to absorb the impacts.
- The capacity to respond is when an infrastructure asset or network can respond faster to any impacts of disasters. This capacity is time sensitive. The lesser the time response takes, the larger the resilience dividend, which is represented as the area between business-as-usual recovery and resilient recovery. For example, early warning systems, backup generators, mobile water purification, dynamic traffic control, and integrated communication networks can enable rapid response. A good capacity to respond means the recovery and continuity of essential services can also be kick-started faster.
- The capacity to recover is the speed at which infrastructure assets are fully restored, and their services are reinstated to the pre-disaster levels. In the graph, it is represented by the

slope of the recovery curve - a steeper slope indicates faster recovery and a stronger recovery capacity, while a gentler slope suggests a weaker capacity. Pre-arranged repair teams, modular infrastructure units, disaster funds, damage profiling tools, and smart rebuilding strategies can facilitate quick post-disaster infrastructure recovery. To further enhance the asset performance, recovery measures may include learnings from the experienced failures and strategies to "build back better," which in turn enhance the normal operating performance and increase the resilience dividend.

Infrastructure risk is higher in developed economies as most of the infrastructure is already built and will need measures such as retrofitting and enhanced maintenance to continue to be operable amidst changing risk scenarios — especially intensifying hazards due to climate change impacts. Hence, their projected disaster losses are higher, but their financial and technological capacities – capacities to respond and recover – are also higher to overcome these challenges. Developing and emerging economies are fighting on many fronts at once. The first challenge is to invest strategically in new infrastructure to boost economic growth, reduce infrastructure deficit, and address the underlying inequities of access. The second challenge is to institutionalise and mandate robust risk assessments and revise existing standards and codes for construction and maintenance to embed resilience within the entire infrastructure lifecycle. Developing and emerging economies, especially in Asia, Africa, and South America, are facing much more severe impacts of climate change; hence, the third challenge is to reduce disaster losses of existing assets and make financial resources available to meet such emerging contingent liabilities. These three challenges also create opportunities and advantages for early adoption of climate and disaster-resilient infrastructure. For EMDEs, any new infrastructure investment without strengthening resilience is akin to pouring water into a bamboo basket.

The next section explains the infrastructure risk landscape within developing and emerging economies vis-à-vis global risk. It dwells deeper into projected infrastructure losses, sectors, and

hazards of concern and quantifies disaster impact in terms of asset loss and GDP loss.

INFRASTRUCTURE RISK LANDSCAPE IN DEVELOPING AND EMERGING ECONOMIES

There are multiple hazard risk assessment models and platforms available that may be referred to and leveraged for the purpose. UNDRR's Global Risk Model (GRM), a key component of the Global Assessment Report (GAR), provides data on hazards, exposure, and vulnerability. The Global Earthquake Model[2] , providing open-access risk modelling tools and vulnerability datasets on seismic hazards and risks. Although these models were not intended to explore infrastructure risk specifically in financial terms.

In 2023, the Coalition for Disaster Resilient Infrastructure (CDRI) launched the Global Infrastructure Risk Model and Resilience Index (GIRI) data platform.[3] which measures and analyses infrastructure risk and resilience across major sectors, including power, transport, telecommunications, water, education, and health systems worldwide. The platform provides detailed risk assessments for infrastructure assets exposed to climate-related hazards, supporting evidence-based decision-making for disaster risk reduction, climate adaptation, and resilient infrastructure development across countries and income levels. GIRI provides financial risk metrics in the form of global and country-level AAL–that is, the estimated contingent liabilities across critical infrastructure sectors due to disasters (Figure 2). GIRI can also be applied at regional, national, and subnational levels, leveraging better data and local knowledge. While regional risk assessments provide a deeper

2 Global Earthquake Model (GAM) is available at https://www.globalquakemodel.org/products

3 All the data presented in this section is available on the GIRI data platform, which is accessible at the link https://giri.unepgrid.ch/. GIRI is developed by a consortium of scientific and technical organisations, notably the CIMA Research Foundation (Italy), INGENIAR Risk Intelligence (Colombia), UNEP-GRID Geneva (Switzerland), and Norwegian Geotechnical Institute (Norway). The platform is open access.

understanding of geographic and sectoral variations, sub-national assessments can go a long way for pre-emptive planning and protecting assets (CDRI, 2025a).

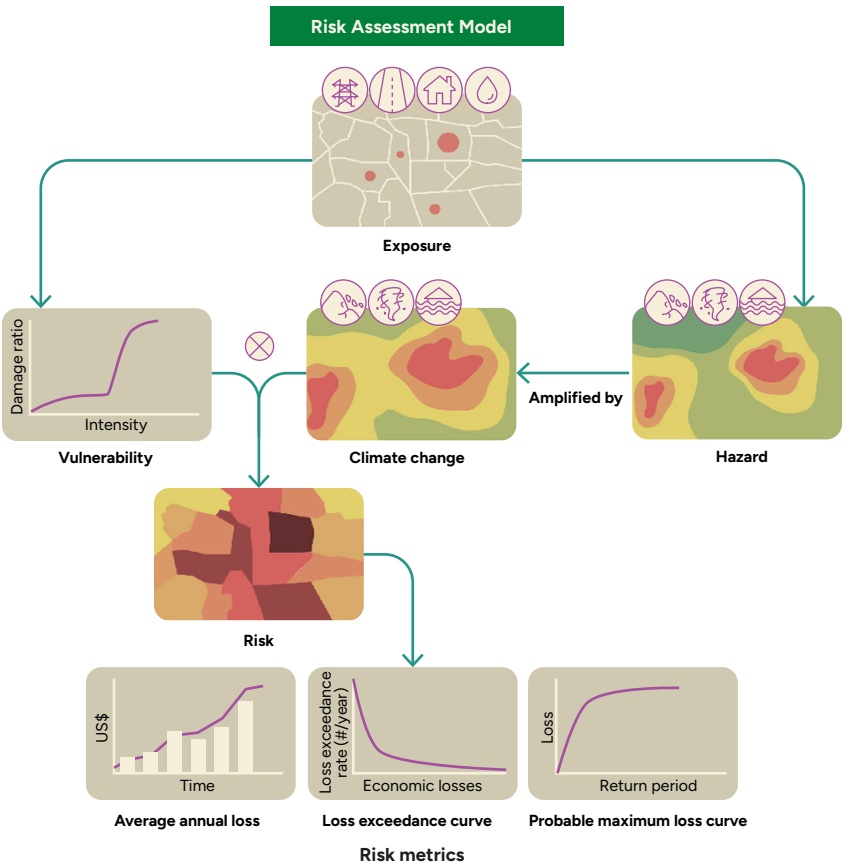


Figure 2: GIRI methodology. *Source: CDRI, 2025a.*

GIRI covers 6 hazards (Earthquake, Tsunami, Landslide, Flood, Tropical Cyclone, and Drought) and 9 infrastructure sectors (Power, Roads and Railways, Ports and Airports, Water and wastewater, Telecommunication, Oil and Gas, Education, Health, and Buildings). All data utilised in this section of the chapter are from the GIRI data platform, and the analysis is by the authors unless otherwise mentioned.

This section looks at the infrastructure and disaster risk in the top 50 developing and emerging economies of the world. To choose the countries, Gross Domestic Product (GDP) data (IMF, n.d.) for all the countries for the year 2023 was collected, and countries were selected based on their status as emerging and developing, as deemed by the International Monetary Fund (IMF). The list of countries and their respective GDPs is provided in Table 1. These countries together represent 34 per cent of the global GDP in the year 2023, amounting to $36.8 trillion.

Sno.	Shortlisted Countries	GDP in billion US$ (2023)	Sno.	Shortlisted Countries	GDP in billion US$ (2023)
1	China	18270.4	26	Puerto Rico	118.4
2	India	3638.5	27	Angola	112.5
3	Brazil	2191.1	28	Kenya	108.2
4	Mexico	1798.3	29	Guatemala	104.4
5	Indonesia	1371.2	30	Uzbekistan	102.6
6	Türkiye	1153.3	31	Venezuela	102.4
7	Argentina	648.9	32	Costa Rica	86.5
8	Thailand	515.9	33	Croatia	84.4
9	Nigeria	487.3	34	Panama	83.8
10	Bangladesh	451.5	35	Sri Lanka	83.7
11	Philippines	437.1	36	Ghana	80.5
12	Vietnam	433.0	37	Côte d'Ivoire	79.6
13	Iran	421.5	38	Tanzania	78.4
14	Malaysia	399.9	39	Uruguay	78.0
15	Egypt	393.8	40	Azerbaijan	72.4
16	South Africa	381.3	41	Congo	67.4
17	Pakistan	336.6	42	Turkmenistan	62.8
18	Peru	271.8	43	Myanmar	62.3
19	Iraq	270.8	44	Uganda	52.0
20	Kazakhstan	261.8	45	Jordan	51.2
21	Algeria	248.1	46	Cameroon	49.3
22	Ethiopia	159.8	47	Tunisia	48.5
23	Morocco	146.1	48	Bahrain	46.2
24	Ecuador	121.1	49	Bolivia	45.5
25	Dominican Republic	120.8	50	Zimbabwe	44.4

Table 1: Shortlisted Developing and Emerging Countries. *Source: (IM, n.d.).*

Taking climate change into account, the global AAL for infrastructure, including buildings, currently lies between $732–$845 billion, representing about 14 percent of 2021-2022 global GDP growth. Low- and middle-income economies LMICs hold roughly half of this contingent liability (CDRI,2023a). Table 2 depicts the composition of infrastructure risk globally in terms of major infrastructure sectors in comparison to EMDEs. Compared to the global AAL of $751.4 billion as per the existing climate scenario, the AAL for EMDEs is $308 billion. EMDEs represent 34 per cent of global GDP but 47 per cent of the global AAL, which represents a high amount of embedded infrastructure risk within these economies.

Infrastructure Sectors	Global AAL %	EMDEs AAL%
Buildings	55.8	69.0
Education	4.8	7.6
Health	0.1	0.1
Oil and Gas	0.9	0.7
Ports and Airports	2.0	1.1
Power	14.3	10.0
Roads and Railways	13.5	7.5
Telecommunications	7.3	3.3
Water and Wastewater	1.3	0.6
Grand Total	**100.0**	**100.0**

Table 2: AAL by Infrastructure Sector. *Source: Authors Analysis of GIRI Data (https://giri.unepgrid.ch/).*

EMDEs also have a higher risk embedded in the buildings sector, including education and health infrastructure, which represents 76 per cent of the total AAL. For critical infrastructure sectors, power and transport[4] represent 10 per cent ($31 billion) and 8.6 per cent ($ 23 billion) of the total AAL, which is quite substan-

4 Transport represents roads and railways, ports, and airports sectors

tial. Transport is a complex sector with many components and sub-components in terms of assets, networks, and stakeholders, which makes achieving resilience a collaborative task. Box 1 provides action points to drive the resilience of transport infrastructure.

Box 1: Achieving Transport Sector Resilience

The transport sector accounts for US$ 90 trillion and over 50 percent of the total exposed value of infrastructure globally and faces acute vulnerability to climate disruptions. In South Asia, the transport sector contributes to 4 to 8 per cent of the region's GDP, and transport assets worth approximately US$ 575 billion are exposed to climate hazards as of 2022. These risks include direct physical damage, as well as disruptions in transport networks. A failure in transport infrastructure can trigger cascading failures across interconnected economic systems. Such disruptions impact supply chains, manufacturing, and overall economic output. In the face of a changing climate, resilient transport systems are the foundation for economic stability and growth.

CDRI and BCG (2024) recommend six calls to action to drive resilience of transport infrastructure:

- Develop national & subnational resilience plans to align policy measures across sectors, including transport infrastructure, with measurable targets.
- Mainstream Climate Risk Assessments in the prefeasibility stage of greenfield and brownfield infrastructure projects to integrate climate risk evaluations into infrastructure planning.
- Establish comprehensive transport infrastructure codes and standards to ensure uniform application of climate-resilient measures across projects.
- Incorporate resilience in procurement for infrastructure projects.
- Embed resilience in skill development to create a workforce equipped to design and manage climate-resilient infrastructure through targeted modules.
- Enhance availability & access to finance to scale up the implementation of resilient projects in transport infrastructure through innovation in financing sources and instruments.

The third critical sector is telecommunications, which represents 3.3 per cent ($ 10 billion) of the total AAL in EMDEs. It is also one of the sectors that will experience considerably higher

investment due to the increasing importance of data in the age of digital economy and data transfer and processing infrastructure to continue with increasing impetus on Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT). Although risk assessment for the telecommunication sector is still at a nascent stage, it is pertinent that resilience is embedded in the upcoming and existing telecommunications infrastructure. Box 2 provides details regarding the Disaster Risk and Resilience Assessment Framework (DRRAF) for the Telecom Sector.

Box 2: Disaster Risk and Resilience Assessment Framework (DRRAF) for the Telecom Sector

CDRI, in partnership with India's Department of Telecommunications (DoT) and the National Disaster Management Authority (NDMA), has developed a Disaster Risk and Resilience Assessment Framework (DRRAF), specifically tailored to the telecommunication sector, along with an actionable roadmap for stakeholders at these levels. The project takes a system-scale approach, encompassing first, middle, and last-mile connectivity, interconnected infrastructure systems, and a variety of technological options across different geographical areas (mountains, plains, and coastal regions). The study proposes disaster resilience measures across five dimensions: Technical Planning & Design, Operations & Maintenance, Policy, Institutions & Processes (PIPs), Financial Arrangements, and Expertise. The expansive framework is hence relevant for all EMDEs.

The Disaster Resilience Index serves as a vital matrix for guiding required changes in policy, infrastructure planning and design, operational procedures, maintenance strategies, capacity building, and financial investments. The index incorporates ten key indicators, including good governance, learning capacity, resourcefulness, flexibility, responsiveness, redundancy, robustness, information flows, safe failure, and interdependency *(CDRI, 2025d)*

In terms of hazards, Table 3 compares the global scenario with EMDEs. Flood, Earthquake, and Cyclone emerge as the three most important hazards representing up to 96 per cent of the total AAL. In EMDEs, flood risks are considerably higher. Flooding

in recent years has emerged as the most devastating hazard, causing billions of dollars in annual losses. Out of the 10 most disastrous flood events, 6 took place between 2010 and 2024, and the total disaster losses were to the tune of $ 281 billion in 2023 prices (AON,2024). Flood-related losses in EMDEs represent 66 per cent of the total AAL to the tune of $203 billion (Table 3).

Hazards	Global AAL%	EMDEs AAL%
Cyclone	14.9	10.6
Earthquake	26.7	19.9
Flood	51.7	66.0
Landslide5	4.9	2.6
Tsunami	1.8	0.9
Grand Total	**100.0**	**100.0**

Table 3: AAL by Hazard: Global and EMDEs. *Source: Authors Analysis of GIRI Data (https://giri.unepgrid.ch/).*

Figure 3 shows the distribution of sectoral AAL by hazard, and it is clearly visible that flood indeed is the most devastating hazard within EMDEs, though its impact on various sectors is not the same. For example, in the ports and airports sector, more than 70 per cent of the AAL is due to cyclones, while up to 60 per cent of the water and wastewater AAL is due to earthquakes. For the power sector, earthquakes and cyclones are as devastating as floods, representing up to 50 per cent of the power sector AAL. It is therefore pertinent that sectoral approaches to mainstream resilience focus on hazards that are more relevant for a particular sector. 30 per cent of the power sector AAL amounting to $9.6 billion is due to cyclones. Box 3 provides certain recommendations and actions to build the resilience of the power sector against cyclones.

5 GIRI measures landslide risks for only the roads and railways sector. Hence, infrastructure loss due to landslides may be understated.

Box 3: Enhancing Power Sector Resilience towards Extreme Weather Events

A detailed research study by CDRI and GRIDCO (2024) in the state of Odisha in India recommends that stakeholders follow these steps to enhance the resilience of the power sector towards extreme weather events such as tropical cyclones.

- Update building codes and standards for transmission & distribution infrastructure.
- Update wind zonation maps and install anemometers at power substations.
- Track historic data for enhanced systemic resilience.
- Create data access platforms for physical climate risks.
- Incorporate the "resilience" component across policy frameworks, including non-structural measures.
- Develop a cross-sectoral framework for enhanced stakeholder collaboration, implement training programmes for effective disaster preparedness.
- Leverage innovative insurance mechanisms, balance force majeure clause implications, revisit contingent liability, and other contractual obligations.

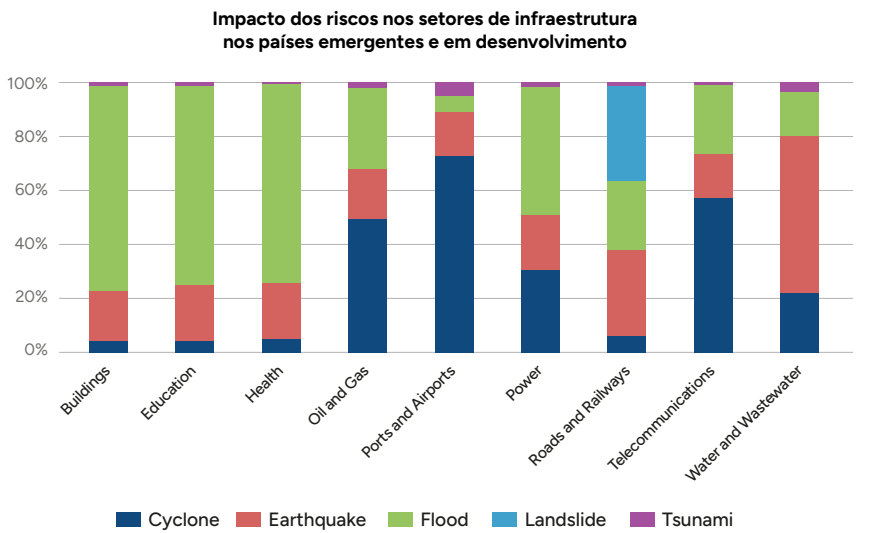


Figure 3: Impact of Hazards on Infrastructure Sectors in EMDEs.
Source: Authors Analysis of GIRI Data (https://giri.unepgrid.ch/).

Regionally within EMDEs, there are a lot of differences in how AAL is distributed. Africa represents 2.2 per cent, even with 16 countries in the list, which makes it clear that there is a huge infrastructure gap in African countries, which is also a timely opportunity to embed resilience, as most of the needed infrastructure is yet to be built. Asia, with its 20 countries, represents 83 per cent of the total AAL, with 77 per cent of GDP, which translates into a large contingent liability, a need for retrofitting existing infrastructure, and a need to invest in new infrastructure. It has two of the world's largest economies, India and China, which together represent 58 per cent of the total AAL and 59 per cent of the GDP within EMDEs. 9 countries from South America and the Caribbean represent 9 per cent of the AAL, with Brazil representing 60 per cent of the GDP and 47% of the AAL. Hence, enhancement in infrastructure resilience in India, China, and Brazil has the potential to benefit a large number of people and economic growth.

Region	No. of Countries	AAL (Million $)	% AAL	GDP (2023, billion $)	% GDP
Africa	16	6722	2.2	2537	6.9
Asia	20	256546	83.2	28443	77.2
South America and the Caribbean	9	28960	9.4	3666	10.0
Others6	5	16159	5.2	2189	5.9
Grand Total	**50**	**308387**	**100.0**	**36835**	**100.0**

Table 4: Regional Landscape of Infrastructure Risk. *Source: Authors Analysis of GIRI Data (https://giri.unepgrid.ch/).*

Apart from Africa, which has lower AAL and higher relative AAL, Small Island Developing States (SIDS) also have fewer infrastructure assets and much greater vulnerability. SIDS are experiencing greater impacts of climate change, and their already existing

6 Others represent 5 countries, namely Croatia in Europe, Mexico in North America, and Guatemala, Panama, and Puerto Rico in Central America.

infrastructure assets and services are under greater threat. Box 4 presents the landscape of infrastructure risk in Africa and SIDS.

Box 4: Infrastructure Resilience in Africa and Small Island Developing States (SIDS).

CDRI (2025b, 2025c) provides special focus on countries in Africa and SIDS that do not have a very high AAL, but a higher Relative AAL. These working papers cover infrastructure risk analysis for all 55 countries in Africa and 55 SIDS countries and territories.

There are also inherent differences between the global level infrastructure risk by sectors in Africa and SIDS. For example, in SIDS, telecommunications bears the highest AAL at $589 million, followed closely by the power sector at $536 million. This vulnerability is exacerbated by reliance on single road networks, centralized power generation systems, and limited port infrastructure. Caribbean islands have higher AAL while Pacific Islands and AIMS (Africa, Indian Ocean, Mediterranean, and South China Sea) regions report considerably lower AALs but face greater relative risks due to limited fiscal capacity and high hazard exposure.

In Africa, smaller nations with fewer infrastructure assets bear significant losses to their economies when AAL is compared to their GDP. AAL represents 1.5 percent of Lesotho's GDP, 1.25 percent of Mauritius' GDP, and 1 percent of Comoros' GDP. Among the infrastructure sectors, the power sector has the largest AAL of $844 million, followed by telecommunications, amounting to $418 million, and roads and railways at $282 million. In Africa, the countries with the largest AAL for infrastructure and buildings are South Africa ($1.7 billion), Nigeria ($1.1 billion), and Algeria ($1 billion). These are large amounts for African governments to pay each year for the repair and reconstruction of damaged infrastructure. Africa cannot afford these losses.

AAL is a financial measure of probable asset loss and will always be lower for countries that do not have many infrastructure assets, although that doesn't mean that such countries have any less vulnerability. Countries with fewer assets may have a lot more exposure to hazards compared to countries with a higher number of assets. Hence, for such countries, Relative AAL is an important metric, which is the ratio of AAL and the exposed value of assets. Countries with fewer assets may have lower AAL and high relative AAL. Figure 4 shows AAL vis-à-vis Relative AAL in all the EMDEs.

Most countries in Africa do not have very high AALs but relatively high AALs comparable to those in South America. South American countries such as Ecuador and Bolivia may not have very high AALs, but their relative AALs are comparable to those of countries such as India and China.

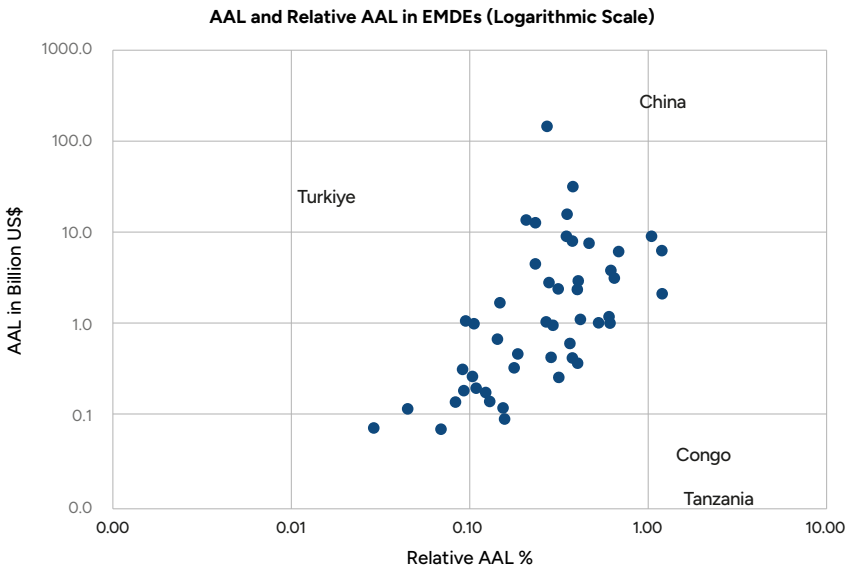


Figure 4: AAL and Relative AAL in EMDEs. *Source: Authors Analysis of GIRI Data (https://giri.unepgrid.ch/).*

It is therefore important that EMDEs resolve to enhance their capacities to absorb impacts of disasters through investing in new infrastructure, which is climate and disaster resilient, through institutionalising risk assessments and adopting new standards and codes. EMDEs with higher relative AAL will have to invest in retrofitting existing assets as well to reduce their contingent liabilities. High climate vulnerability combined with the need to invest in infrastructure and economic growth creates an opportunity for EMDEs to mainstream resilience.

The last section of this chapter presents a comprehensive list of key lessons and recommendations that will support EMDEs to be able to achieve disaster resilience of infrastructure and reap the resilience dividend.

REAPING RESILIENCE DIVIDEND: ACHIEVING DRI IN EMDES

The following discussion outlines seven key lessons in practice for countries and governments to capture the resilience dividend by strengthening the resilience of infrastructure systems.

A deeper understanding of risk is crucial.

Assessing infrastructure risks is the first step to enabling DRI action. Risk assessments can provide governments and infrastructure ministries with the required evidence base to obtain an overview of the risks across various sectors and inform policies and investment decisions at national and sub-national levels, as discussed in the last section in greater detail. Granular assessments at the local level can help infrastructure development agencies, utilities, asset operators, and DRM agencies plan maintenance and retrofits, build resilient new assets, and inform post-disaster reconstruction.

Investing in resilient infrastructure can help minimise indirect macroeconomic costs.

Infrastructure failures and service disruptions due to disasters can impact trade and tourism, affect jobs and livelihoods, and incur reconstruction expenses at the cost of development. CDRI's macroeconomic analysis of eight diverse countries in different regions shows that indirect economic losses from infrastructure failures are, on average, 7.4 times higher than the direct costs of damaged assets and can be as high as 16 times in some countries (CDRI, 2025a). In fact, infrastructure failures can cause an average annual loss of about 5.2 percent of GDP growth between 2025 and 2050.

The analysis further shows that the speed of recovery and reconstruction directly influences the economic consequences of infrastructure failures due to disasters, with average GDP impact dropping from 7.4 percent under slow and partial reconstruction to 3% with full reconstruction over ten years, and could be lowered further to 2.3% if reconstruction is completed within four years (CDRI,

2025a). This analysis underscores that investing in resilient infrastructure development and rapid post-disaster reconstruction is, in fact, an important economic strategy for developing countries to restore productive capacity and limit the scale of compounding impacts.

Building resilience of businesses requires a value chain perspective and deeper engagement.

Besides direct impacts on physical assets such as factories and buildings, cascading impacts of disasters can halt business operations and supply chains owing to damage to critical infrastructure systems and service failures. These disruptions can affect employment structures and profitability, with average annual profits potentially being reduced by as much as 15 percent (BCG, 2023).

CDRI's recent survey of over 500 companies from close to 60 countries indicates that while 82 percent of large firms report having continuity plans, only half of these plans have been tested, and around 60 percent still rely on ad-hoc responses. The survey also found that while insurance penetration is high among large businesses, more than 40 percent do not have sufficient coverage for disasters, and as many as 77 percent felt that government policies for resilience are either absent or poorly enforced (CDRI, 2025a).

These results underscore the growing vulnerability of businesses, inadequate resilience investments, and the need for strengthening capacities and government engagement. Moreover, end-to-end resilience of businesses requires a value chain perspective for reducing downtime and systemic vulnerabilities to minimise the cascading indirect impacts.

Technologies offer transformative opportunities.

Technological innovations such as resilient 3D-printed homes, low-earth orbit satellites, and artificial intelligence are already being deployed for designing, constructing, and maintaining infrastructure assets widely. CDRI's review of 35+ new technologies and 100 case studies worldwide, conducted as part of the GIR 2025 report, shows that these tools will radically transform resilient infrastructure over the next decade (Stone, 2025).

Amongst a gamut of DRI-oriented applications, technologies can most prominently be leveraged for enhancing the data value chain, improving connectivity, communication, and collaboration, and strengthening infrastructure assets and network performance (Figure 5). For instance, Brazil's Civil Defence used an online dashboard to track and communicate disaster impacts in Rio Grande do Sul[7]. In India, an AI-powered system that tailors cyclone warnings to individual households, using data on dwelling type, location, and hazard exposure, was deployed ahead of Cyclone Yaas in 2021 (Ajmal, 2021)

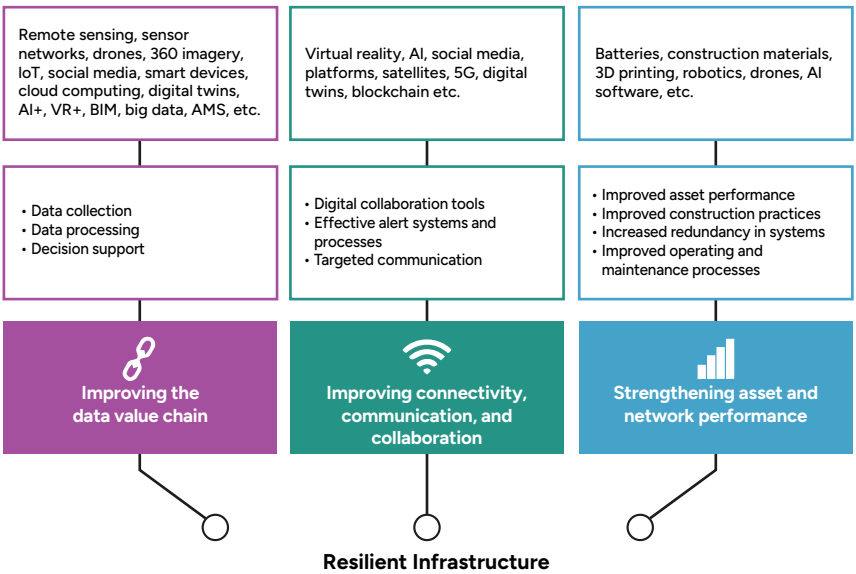


Figure 5: Technologies for Resilient Infrastructure. *Source: Stone, 2025.*

The cost of new Technologies is often a fraction of the cost of infrastructure service interruptions, considering they can reduce the costs of building and maintaining infrastructure assets; help increase the capacity to absorb shocks and thus avoid losses; and enable faster recovery and reconstruction after events occur. However, the benefits of new technologies for resilience can only

7 More information available at https://sosenchentes.rs.gov.br/inicial

be as effective as the technical skills of users and the institutional capacities of the implementing agencies and infrastructure operators to harness their full potential. Clear regulatory frameworks, standards, and incentives to act on technological outputs are also crucial. Moreover, building infrastructure resilience does not necessarily have to be high-tech. Simple, accessible solutions such as mobile apps for maintenance or communications with communities can be equally effective.

Scaling innovative solutions such as NbS can deliver cost-effective resilience.

Nature-based solutions (NbS) for strengthening infrastructure resilience typically cost 50% less upfront than grey solutions and deliver 28% additional value (CDRI, 2025a).

In addition to shock absorption, NbS can also sustain critical functions during a disaster and facilitate quick recovery. For example, forests can serve as evacuation routes, wetlands can hold floodwaters, and green barriers can be used to mitigate heatwaves or floods. Further, NbS also offers long-term benefits, including cleaner air and recreational areas, as well as a robust local economy, which can be achieved at a lower cost compared to traditional grey infrastructure.

However, scaling up NbS from pilots to large-scale implementation typically requires combining grey, green, and blue solutions or "hybrid solutions" that integrate the predictability of engineered solutions with the adaptability and regenerative qualities of nature. A much-cited example is the Netherlands' Room for the River Programme that uses a complex system of hybrid solutions for flood resilience (European Climate-ADAPT, 2020).

Additionally, their implementation, maintenance, and rehabilitation require technical capacity and engagement across sectors and actors, including infrastructure agencies and local communities. Mainstreaming in master plans, sectoral strategies, procurement procedures, design manuals, tools, and concession agreements, besides well-designed financial instruments, can help align incentives for both public and private actors (CDRI, 2025a).

Resilient infrastructure financing requires a layered approach.

Access to adequate financing is indispensable for implementing DRI strategies. At present, financing for DRI is largely reactive, deployed only after disasters cause widespread damage, leaving many countries, especially the developing economies, with persistent financing gaps. It is estimated that LMICs alone face an annual investment shortfall of around $3 trillion for adapting and retrofitting ageing infrastructure to be both net zero and resilient, to withstand climate impacts (CDRI, 2023a).

At the same time, infrastructure failures due to disasters not only have large economic impacts, but they also increase public debt burdens and lower a country's risk ratings. Therefore, it is critical to quantify direct and indirect resilience benefits through risk assessment and cost-benefit analysis tools – while making investment decisions for development of new infrastructure, maintenance and retrofitting of existing assets, and post-disaster reconstruction.

Moreover, resilient infrastructure financing requires a range of instruments available to absorb, respond to, and recover from the impacts of disasters, such as a combination of dedicated resilience budget lines, contingent budgets and loans, insurance, and fast access to international grants and soft credit (Figure 6). Concurrently, robust governance, clear resilience standards, and the incorporation of disaster risk considerations into public and private sector decisions – at national and sub-national levels - are necessary to ensure these investments realize their maximum effect.

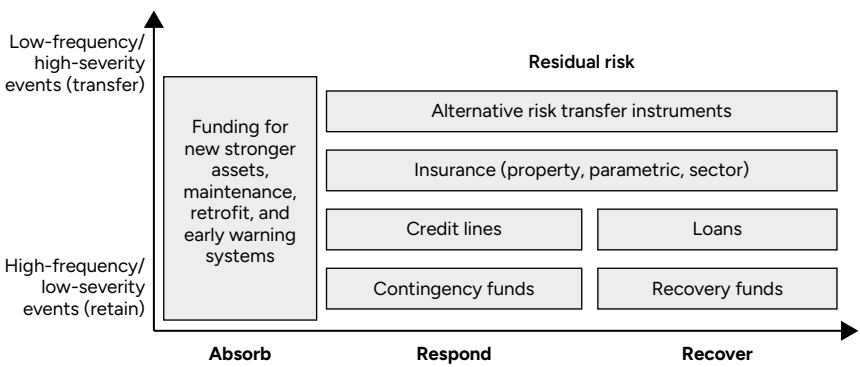


Figure 6: Landscape of infrastructure resilience financial instruments.

Source: CDRI, 2025a.

Strengthening institutional capacities and governance is indispensable.

DRI is fundamentally a governance challenge and requires coordinated action across sectors, agencies, and levels of government. It is not the responsibility of infrastructure agencies alone; ministries of finance, planning bodies, land use authorities, subnational governments, legislators, and other service providers play a critical role, besides local communities and businesses, by embedding resilience into their own mandates and functions across the infrastructure resilience cycle.

Collaboration between infrastructure agencies and disaster authorities is also key. Integrated preparedness plans, drills, early warning systems, and rapid reconstruction of resilient infrastructure can only be effective when governance is clear and mandates are unambiguous. However, fragmented structures, overlapping responsibilities, and institutional and human capacity gaps remain key barriers to DRI action and effective response and recovery.

To better understand these gaps, CDRI conducted a Global Infrastructure Resilience Survey covering over 3,000 professionals in more than 100 countries as part of the GIR 2025 report. The findings reveal that many countries face shortages of trained staff, limited funding, and fragmented responsibilities. For instance, out of 3,000 professionals surveyed globally, nearly 40 percent of respondents report insufficient public sector capacity, with only 12%-15% reporting consistent use of new technologies and innovative solutions such as NbS. While private sector capacities are often stronger, only about one-third of respondents considered them sufficient. Besides, strengthening policies, standards, codes, and regulations emerged as the most critical action that governments can take to improve resilience (CDRI, 2025a).

Taking cognizance of some of these challenges, multiple initiatives have emerged in the recent past globally. Resilient Infrastructure has been a key area of policy focus as part of recent G20 and BRICS engagements, UNFCCC CoPs, and UNDRR Global and Regional Platforms. The OECD and the World Bank Group, with support from other multilateral development banks, have develo-

ped the Quality Infrastructure Investment (QII) Principles to guide countries and investors in ensuring that infrastructure investments are not only financially viable but also socially, environmentally, and economically sustainable.

CDRI, through its 60+ member countries and partners, has been making consistent efforts to further the DRI agenda, contributing and driving the global policy discourse and supporting governments in actioning the same through technical assistance and programmatic support. Capacity development through sharing of practical knowledge and resources - in the form of cutting-edge research, case studies, tools, and training - is a key focus area for CDRI towards helping governments, institutions, and stakeholders to develop, deliver, and scale infrastructure that is resilient to climate and disaster risks.

REFERENCES

Ajmal, A. (2021, October 20). This non-profit is protecting vulnerable communities from the effects of climate change with AI. Source Asia. *This non-profit is protecting vulnerable communities from the effects of climate change with AI - Source Asia*

AON. (2024). *2024 Climate and Catastrophe Insight*. https://assets.aon.com/-/media/files/aon/reports/2024/climate-and-catastrophe-insights-report.pdf

Boston Consulting Group (BCG). (2023). *Coming to grips with corporate climate risk*. The Boston Consulting Group. https://web-assets.bcg.com/b4/78/8a615ed64cc496596f7c223cbc96/bcg-coming-to-grips-with-corporate-climate-risknov-2023-1.pdf

CDRI. (2023a). *Global Infrastructure Resilience: Capturing the Resilience Dividend- A Biennial Report from the Coalition for Disaster Resilient Infrastructure*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/biennial-report-on-global-infrastructure-resilience-capturing-the-resilience-dividend

CDRI (2023b). *DRI Lexicon – Shared understanding of terms that matter for Disaster Resilient Infrastructure*. Coalition for Disaster Resilient Infrastructure, New Delhi, India. https://doi.org/10.59375/cdri1001, https://lexicon.cdri.world/

CDRI and GRIDCO. (2024). *Policy Brief - Lessons from Odisha: Developing Power Sector Resilience to Extreme Weather Events in Coastal Areas*. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/power-sector-policy-brief-odisha

CDRI and Prayas. (2025). *Navigating the Indian Power Sector in the Face of Extreme Heat*. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/navigating-the-indian-power-sector-in-the-face-of-extreme-heat-a-scoping-note

CDRI and BCG. (2024). *Transport Infrastructure Reimagined: Forging Resilient Connections*. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/transport-infrastructure-reimagined-forging-resilient-connections

CDRI. (2025a). *Global Infrastructure Resilience 2025: Capturing the Resilience Dividend*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/images/resources/MainReport_GIR_2025._709102968.pdf

CDRI. (2025b). *Infrastructure Resilience in Africa: GIR-2025 Working Paper*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/infrastructure-resilience-in-africa

CDRI. (2025c). *Infrastructure Resilience in Small Island Developing States: GIR-2025 Working Paper*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/gir-2025-sids

CDRI. (2025d). *Policy Brief: National and sub-national disaster risk & resilience assessment and roadmap for telecommunication sector, India*. New Delhi. https://driconnect.cdri.world/resources/cdri-publications/telecom-policy-brief

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2025). *2024 Disasters in Numbers*. CRED. https://files.emdat.be/reports/2024_EMDAT_report.pdf

European Climate-ADAPT. (2020). *Room for the River Waal – Protecting the city of Nijmegen*. https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/room-for-the-river-waal-2013-protecting-the-city-of-nijmegen

IMF. (n.d.). Real GDP growth. Retrieved February 1, 2025, from https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD

Hallegatte,S., Rentschler, J.; Rozenberg, J. (2019). *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity. Sustainable Infrastructure*, Washington, D.C.: World Bank. http://hdl.handle.net/10986/31805

McKinsey & Company. (2025). *The Infrastructure Moment: Investing in the Expanding Foundations of Modern Society*. https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/infrastructure/our%20insights/the%20infrastructure%20moment/the-infrastructure-moment-investing-in-the-expanding-foundations-of-modern-society.pdf

Stone, H. (2025). *GIR 2025 Working Paper on Technologies: Harnessing the Full Potential. Coalition for Disaster Resilient Infrastructure (CDRI)*. https://cdri.world/resilience-dividend/global-infrastructure-resilience-report-second-edition/

United Nations (UN). (2024). *The Sustainable Development Goals Report* 2024. https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/

UNDRR. (2025). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction* 2025. https://www.undrr.org/media/106862/download?startDownload=20260208

World Bank. (n.d.). Gross Fixed Capital Formation (Current US$) Retrieved February 1, 2025, from https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.FTOT.CD?end=2024&start=1960&view=chart.

Eletronic page:

https://giri.unepgrid.ch/.