

RELATÓRIO ANUAL SOBRE A EXPOSIÇÃO DO SETOR BANCÁRIO AO RISCO CLIMÁTICO

2023

NOTA METODOLÓGICA
À ANÁLISE DE CENÁRIOS
CLIMÁTICOS



BANCO DE
PORTUGAL
EUROSISTEMA

RELATÓRIO ANUAL SOBRE A EXPOSIÇÃO DO SETOR BANCÁRIO AO RISCO CLIMÁTICO

2023

NOTA METODOLÓGICA
À ANÁLISE DE CENÁRIOS
CLIMÁTICOS

Francisco Augusto, Nuno Ribeiro,
Ricardo Marques e Simone Caldeira



BANCO DE PORTUGAL
EUROSISTEMA

Lisboa, 2024 • www.bportugal.pt

Índice

- 1 Enquadramento | 4
- 2 Dados | 4
- 3 Estimação da probabilidade de incumprimento (PD) | 5
 - 3.1 Fase de estimação | 6
 - 3.2 Fase de projeção (choques climáticos) | 10
- 4 Estimação da perda em caso de incumprimento (LGD) | 20
 - 4.1 Definição de LGD e identificação dos colaterais | 20
 - 4.2 A evolução do rácio V/M | 22
 - 4.3 Estimativa da LGD por contrato | 25
 - 4.4 Estimativa da LGD por empresa | 27
- Referências | 30
- Anexos | 31

1 Enquadramento

Esta nota descreve a metodologia de projeção considerada na secção “2.2 Análise de cenários climáticos: risco de crédito nas sociedades não financeiras” do *Relatório Anual sobre a Exposição do Setor Bancário ao Risco Climático do Banco de Portugal* (doravante *Relatório Anual*). O Relatório Anual avalia a situação financeira das sociedades não financeiras (SNF) em cenários climáticos de muito longo prazo, desenvolvidos pela *Network for Greening the Financial System* (NGFS). A metodologia descrita neste documento permite obter trajetórias para as probabilidades de incumprimento (PD, na sigla inglesa) e para as perdas em caso de incumprimento (LGD, na sigla inglesa) ao nível da empresa.

O exercício de avaliação beneficia de uma componente significativa de dados ao nível da empresa e ao nível do contrato de empréstimo, cruciais na avaliação de riscos, cuja materialização varia em função do tipo de atividade da empresa e da sua localização. O exercício de projeção incorpora a informação contabilística das SNF portuguesas e as exposições dos bancos residentes a essas SNF. Para calibrar os choques de natureza climática, é utilizada a exposição a riscos físicos associada à localização geográfica dos ativos das empresas, bem como projeções das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) das SNF.

A metodologia considerada segue, em linhas gerais, o primeiro *stress-test* climático de natureza *top-down* feito pelo BCE (Alogoskoufis et al., 2021). Tal como descrito no Relatório Anual, este exercício do BCE caracterizou-se por um grau de granularidade da informação sem precedentes — em termos de caracterização geográfica dos riscos climáticos, do número de empresas e de instituições bancárias incluídas no exercício — e, ainda, pela consideração de um horizonte temporal de 30 anos.

A nota metodológica está organizada da seguinte forma. A secção 2 discute a amostra de empresas considerada no exercício de projeção, a secção 3 apresenta o modelo de projeção das PD, enunciando os efeitos dos canais de transmissão dos riscos climáticos no risco de crédito das empresas, e a secção 4 descreve a estimação das LGD, destacando o impacto da materialização dos riscos físicos no valor dos colaterais físicos das empresas.

2 Dados

O exercício de projeção considera as 50 mil empresas com maior exposição de empréstimos na CRC em dezembro de 2021. A seleção destas empresas recorreu a três critérios adicionais: (i) a empresa tinha informação disponível sobre o montante total do volume de negócios em 2020, obtido a partir da informação da Central de Balanços (CB) do Banco de Portugal; (ii) a empresa tinha informação de risco de crédito (PD) em 2021 produzida pelo Sistema Interno de Avaliação de Crédito do Banco de Portugal (SIAC); e (iii) a empresa apresentava um rácio de empréstimos vencidos inferior a 25% do total de exposição. Os empréstimos associados a estas 50 mil empresas correspondem a cerca de 79% do total de empréstimos da CRC a empresas, o que corresponde a 68% do VAB e 77% do total de dívida financeira do universo de empresas considerado da CB.

Os empréstimos às SNF pertencentes a grupos económicos foram reafetos entre as empresas dos respetivos grupos, por forma a ser respeitada a materialidade económica da operação das empresas. Para empresas que fazem parte de grupos económicos, o montante de empréstimos individual é equivalente à proporção de volume de negócios dessa empresa individual no volume

de negócios total do grupo económico.¹ Este processo de reafetação dos empréstimos dentro dos grupos económicos pretende aumentar o significado económico/climático da exposição, evitando que os empréstimos estejam associados a sociedades instrumentais dos grupos, mas sem atividade operacional. Assim, consideraram-se as sociedades financeiras identificadas como *holdings* financeiras de grupos económicos com empréstimos na CRC, para além das sociedades não financeiras.

Adicionalmente, este exercício recorreu à informação financeira individual das SNF da CB, às PD do SIAC, às garantias subjacentes aos contratos de crédito registados na CRC e às LGD reportadas pelos bancos na CRC. Foi ainda utilizado o PIB a preços de mercado na ótica da despesa (preços correntes) das Contas Nacionais Anuais compiladas pelo INE. O período considerado engloba os anos entre 2006 e 2020 e todas as SNF com informação disponível na CB e no SIAC. A seleção do período de estimação e do universo das empresas obedeceu a um conjunto de critérios que procuraram garantir o significado económico dos agregados ou variáveis considerados na análise e, em particular, a relevância das conclusões para o sistema bancário.

O PIB e a inflação dos cenários climáticos da NGFS² serviram de base às projeções das variáveis financeiras das SNF, sobre as quais foram aplicados os choques de natureza climática com recurso a outras variáveis dos cenários. Entre estas encontram-se os preços e consumos agregados de várias fontes de energia, os custos das emissões de GEE e as estimativas de danos relacionados com o aumento anual da temperatura média.³ A heterogeneidade dos choques de natureza climática ao nível da empresa beneficiou de informação granular produzida por empresas fornecedoras de dados. Para os choques relacionados com os riscos físicos, foi utilizada a base de dados da *Moody's Climate on Demand*⁴, a qual contém *scores* de risco para um conjunto de eventos climáticos. Os choques relacionados com os riscos de transição foram calibrados com as projeções de emissões de GEE produzidas pela Urgentem⁵.

3 Estimação da probabilidade de incumprimento (PD)

A projeção das PD das SNF engloba dois passos sequenciais. Em primeiro lugar, são estimadas as relações históricas entre as PD a um ano e alguns rácios financeiros das SNF (fase de estimação). São também estimadas outras equações relativas à evolução do ativo, das receitas e dos custos

¹ Tal como para as empresas individuais, também se consideraram critérios de materialidade para empresas que fazem parte de grupos económicos. Apenas se consideraram empresas de grupos económicos para as quais: (i) existia informação sobre o volume de negócios em 2020; (ii) tinham informação de PD disponível em 2021; e (iii) o rácio de empréstimos vencidos do grupo económico era inferior a 25% do total de exposição de empréstimos do grupo. Caso a empresa fosse excluída da análise por não ter informação de PD, considerou-se a sua exposição de empréstimos como parte da exposição de empréstimos total do grupo económico.

² A NGFS divulga cenários climáticos anualmente desde junho de 2020 (Fase I). A segunda versão dos cenários, utilizada neste exercício, foi publicada em junho de 2021 (Fase II). A Fase III dos cenários foi divulgada em setembro de 2022.

³ Os cenários de transição climática da NGFS utilizados neste exercício foram derivados pelos modelos REMIND-MAgPIE 2.1-4.2. A informação sobre os cenários climáticos da Fase II de divulgação (junho de 2021) encontra-se disponível no [portal de cenários da NGFS](#) (variáveis macroeconómicas e de mercados setoriais, como o energético) e no [portal Climate Analytics](#) (informação geográfica de riscos físicos por país e região).

⁴ A Moody's COD é uma plataforma de dados da empresa grupo Moody's Analytics que disponibiliza informação sobre risco climático físico a nível geográfico. Para mais informação sobre a atividade da empresa, consultar o [sítio https://www.moodyanalytics.com/](https://www.moodyanalytics.com/). Sobre a utilização desta informação para a análise de riscos para a estabilidade financeira, consultar a secção 2.1.1 do Relatório Anual.

⁵ A Urgentem é uma empresa privada sediada no Reino Unido, pertencente ao grupo ICE (sediado no EUA), que fornece informação de emissões de GEE e indicadores de risco climático ao nível da empresa. Para mais informação sobre a atividade da Urgentem, consultar o [sítio https://www.urgentem.net/](https://www.urgentem.net/). Sobre os tipos de emissões de GEE, consultar nota de rodapé 16 na secção 2.1.2 do Relatório Anual.

operacionais das SNF. Num segundo passo (fase de projeção), estas variáveis contabilísticas são projetadas num horizonte de longo-prazo (até 2050) recorrendo às relações econométricas estimadas anteriormente e aos cenários climáticos da NGFS. Simultaneamente, é aplicado um conjunto de choques que visam reproduzir a materialização de riscos climáticos físicos e de transição ao nível da empresa. Por fim, as projeções das variáveis permitem calcular os rácios financeiros no mesmo horizonte temporal e, por conseguinte, as PD.

3.1 Fase de estimação

No modelo adotado, assume-se que a PD a um ano das SNF tem uma especificação logística compatível com o seu domínio possível (entre 0 e 1), dada pela equação PD.1. Esta especificação deverá captar melhor a relação entre a PD e as variáveis explicativas, especialmente para as empresas nas caudas da distribuição dos rácios económico-financeiros.⁶

$$PD_{it} = \frac{1}{1 + e^{-x_{it}\beta}} \quad \text{PD.1}$$

Na equação PD.1, PD_{it} corresponde à probabilidade de incumprimento a um ano da empresa i no ano t estimada pelo modelo SIAC do Banco de Portugal, x_t é o vetor de variáveis explicativas (incluindo a constante e as variáveis económico-financeiras da empresa) e β é o vetor dos coeficientes. Para a estimação da relação entre a PD e as variáveis explicativas selecionadas, é criada uma variável latente designada de z -score (z_{it})⁷, definida de acordo com a equação PD.2.

$$z_{it} = x_{it}\beta = \ln\left(\frac{PD_{it}}{1 - PD_{it}}\right) = \alpha + \delta_i + \theta_t + \beta_1 ROA_{it} + \beta_2 Lev_{it} + \varepsilon_{it} \quad \text{PD.2}$$

Na equação PD.2, a variável dependente $z_{it} = x_{it}\beta$ é o termo da função logística da PD na equação PD.1. Os coeficientes α , δ_i e θ_t correspondem à constante, aos efeitos fixos de empresa e aos efeitos fixos de tempo, respetivamente.⁸ A variável ROA_{it} designa o rácio de rentabilidade do ativo e Lev_{it} o rácio de endividamento, e são calculados de acordo com as equações PD.3 e PD.4, onde $Rev_{i,t}$, $OpEx_{i,t}$, $TA_{i,t}$ e $FD_{i,t}$ correspondem, respetivamente, às receitas, aos custos operacionais, ao ativo total e à dívida financeira da empresa i no ano t .

$$ROA_{it} = \frac{Rev_{it} - OpEx_{it}}{TA_{it}} \quad \text{PD.3}$$

$$Lev_{it} = \frac{FD_{it}}{TA_{it}} \quad \text{PD.4}$$

De modo a captar especificidades das empresas relacionadas com o setor de atividade em que operam e com a sua dimensão, dividiu-se o universo de empresas em dez subconjuntos, cada um correspondendo a um par de dimensão e setor de atividade (Quadro 1), em linha com o processo de estimação econométrica de Antunes et al. (2016). Assim, estimou-se, por OLS, a equação PD.2 para cada grupo de empresas de dimensão d e pertencentes ao setor r .⁹

⁶ A especificação de um modelo *Logit* corresponde à abordagem seguida pelo SSM no âmbito do *stress test* climático de 2022.

⁷ Sobre o *z-score*, consultar Antunes, A. et al. (2016), "Revisitando probabilidades de incumprimento de empresas", *Revista de Estudos Económicos*, Banco de Portugal.

⁸ O teste de especificação de Hausman entre um modelo com efeitos fixos e um modelo alternativo com efeitos aleatórios resultou na rejeição da hipótese nula, i.e. concluiu-se pela preferência pela especificação com efeitos fixos.

⁹ Note-se que os modelos que deram origem às PD utilizadas neste exercício incluem muitas outras variáveis que não são aqui consideradas. Uma vez que o objetivo deste trabalho é a projeção das PD até 2050, optou-se por apenas considerar as variáveis diretamente relacionadas com os principais canais de impacto climático (ver Gráfico I.2.21 na secção 2.2 do Relatório Anual).

Quadro 1 • Modelos com a organização do SIAC

Setor ($r \in \{1, \dots, 5\}$)	Microempresas ($d = 1$)	PME e Grandes empresas ($d = 2$)
Indústria extrativa (B) & transformadora (C)	($d=1, r=1$)	(2, 1)
Construção (F) & Atividades imobiliárias (L)	(1, 2)	(2, 2)
Agricultura (A) & Comércio (G)	(1, 3)	(2, 3)
Eletricidade (D) & Saneamento (E) Transportes e armazenagem (H)	(1, 4)	(2, 4)
Outras atividades	(1, 5)	(2, 5)

Notas: Categorias consideradas na estimação econométrica subjacente à metodologia do Sistema Interno de Avaliação de Crédito do Banco de Portugal (SIAC). As letras entre parêntesis correspondem às secções da CAE. Adicionalmente, ver Antunes et al. (2016).

A mesma divisão do universo de SNF é seguida para as equações do ativo total, das receitas e dos custos operacionais.¹⁰ Nos três casos as variáveis são expressas em logaritmos naturais. No caso dos ativos totais ($\ln TA_{i,t}$), a equação apresenta uma especificação autorregressiva de um período. A equação PD.5 inclui ainda o logaritmo natural do PIB nominal ($\ln GDP_t$) e uma variável binária que identifica os anos de diminuição do PIB real ($dummyRec_t$) como variáveis de controlo para a evolução da atividade económica, bem como uma variável binária que identifica a quebra de estrutura causada pela introdução do Sistema de Normalização Contabilística em 2010 ($dummySC_t$). A equação considera efeitos fixos de empresa.¹¹

$$\ln TA_{it} = \alpha + \delta_i + \beta_1 \ln TA_{i,t-1} + \beta_2 \ln GDP_t + dummyRec_t + dummySC_t + \varepsilon_{it} \quad \text{PD.5}$$

As equações das receitas ($\ln Rev_{i,t}$) e dos custos operacionais ($\ln OpEx_{i,t}$) das SNF, também consideram uma componente autorregressiva, bem como o total de ativo, como regressores. Ambas as equações PD.6 e PD.7 incluem efeitos fixos de empresa e tempo.

$$\ln Rev_{it} = \alpha + \delta_i + \theta_t + \beta_1 \ln Rev_{i,t-1} + \beta_2 \ln TA_{it} + \varepsilon_{it} \quad \text{PD.6}$$

$$\ln OpEx_{it} = \alpha + \delta_i + \theta_t + \beta_1 \ln OpEx_{i,t-1} + \beta_2 \ln TA_{it} + \varepsilon_{it} \quad \text{PD.7}$$

Os impactos estimados dos rácios de rentabilidade e de endividamento apresentam os sinais esperados de acordo com a intuição económica: aumentos da rentabilidade e do endividamento reduzem e aumentam, respetivamente, o *z-score* e, conseqüentemente, a PD das SNF.

Decorrente da sua especificação logística, observa-se que a sensibilidade da PD à variação dos rácios financeiros é tanto maior quanto maior for o nível inicial da PD¹² (antes do choque nas variáveis explicativas) (Gráfico 1). Adicionalmente, as empresas da categoria PME e grandes empresas e dos setores da Indústria e do Comércio e Agricultura apresentam maior sensibilidade das PD à variação

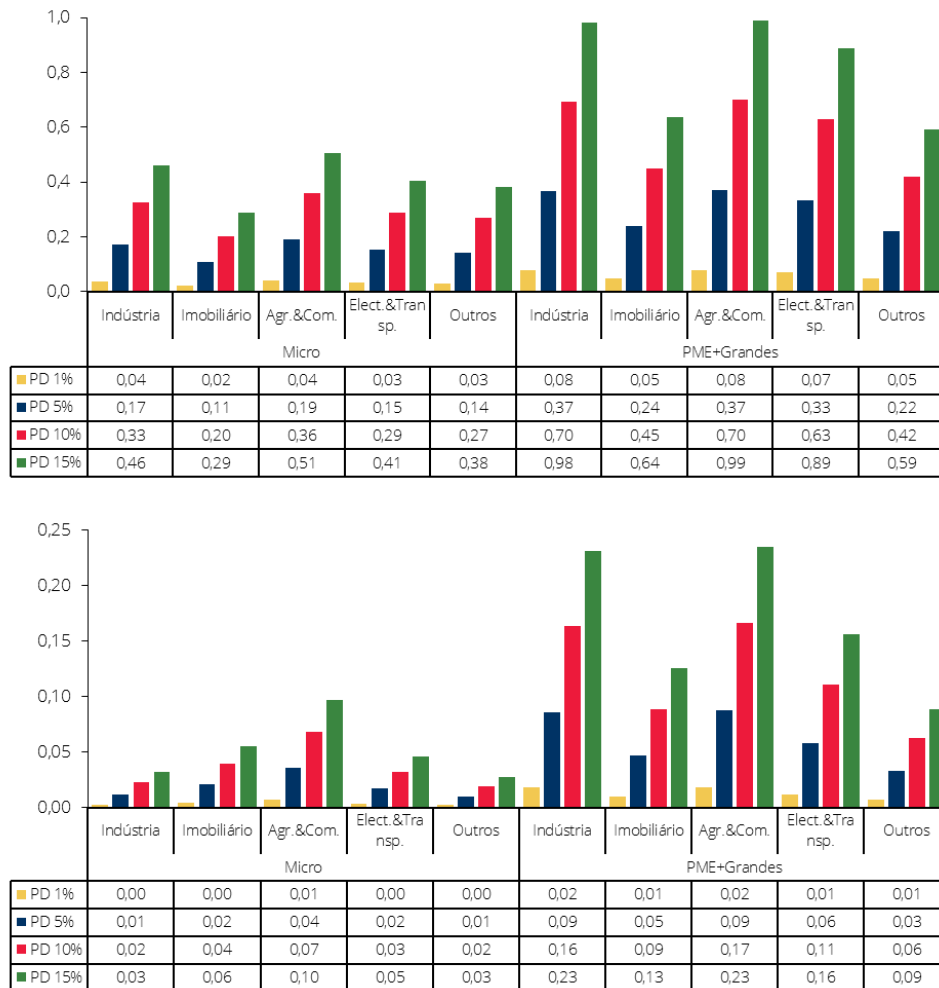
¹⁰ A notação dos coeficientes nas equações (2), (5), (6) e (7) é igual por simplificação.

¹¹ As variáveis macroeconómicas têm de ser explicitamente especificadas no modelo devido ao seu papel na fase de projeção. Assim, a equação PD.5 não inclui efeitos fixos de tempo, pois seriam colineares com o PIB.

¹² Esta regularidade mantém-se apenas na metade inferior do domínio da PD, i.e. até uma PD de 50%.

dos rácios financeiros. Os coeficientes estimados nas equações PD.5, PD.6 e PD.7 apresentam sinais e magnitudes de acordo com o esperado.

Gráfico 1 • Impactos na PD de uma diminuição de 1 pp do ROA (painel superior) e de um aumento de 1 pp do rácio de endividamento (painel inferior) | Em pontos percentuais



Fonte: Banco de Portugal. | Notas: A altura de cada barra corresponde à diferença entre a PD chocada e o nível de PD inicial (antes do choque), em pontos percentuais. A cor de cada barra corresponde ao nível da PD inicial.

Por forma a testar a robustez dos resultados obtidos, estimou-se um modelo com as observações de todas as dimensões e setores de atividade. Este modelo conjunto consiste nas equações PD.2, PD.5, PD.6 e PD.7 incorporando variáveis binárias (e as interações com os restantes regressores) identificativas dos dois grupos de dimensão e dos cinco grupos de setores de atividade considerados. Os coeficientes estimados estão globalmente em linha com os obtidos com o conjunto de modelos por dimensão-setor descritos anteriormente (Quadro 2).

Quadro 2 • Resultado da estimação da equação das PD (impactos no z-score)

Rácio de rendibilidade			
Dimensão	Setor	Modelos múltiplos	Modelo conjunto
1	1	-3,57***	-3,46***
1	2	-2,23***	-2,51***
1	3	-3,93***	-3,98***
1	4	-3,14***	-3,09***
1	5	-2,98***	-2,95***
2	1	-7,50***	-7,01***
2	2	-4,91***	-4,91***
2	3	-7,57***	-7,67*** (a)
2	4	-6,80***	-6,16***
2	5	-4,56***	-4,81***

Rácio de endividamento			
Dimensão	Setor	Modelos múltiplos	Modelo conjunto
1	1	0,25***	0,25***
1	2	0,44***	0,33***
1	3	0,76***	0,69***
1	4	0,36***	0,32***
1	5	0,22***	0,22***
2	1	1,80***	1,76***
2	2	0,98***	1,09***
2	3	1,83***	2,12*** (a)
2	4	1,22***	1,33***
2	5	0,69***	0,77***

Termos específicos dimensão-setor			
Dimensão	Setor	Modelos múltiplos	Modelo conjunto
1	1	-3,01***	-3,28***
1	2	-3,21***	-3,29*** (a)
1	3	-3,55***	-3,56***
1	4	-2,96***	-2,98***
1	5	-3,40***	-3,23***
2	1	-4,32***	-4,31***
2	2	-3,30***	-3,60*** (a)
2	3	-4,89***	-4,72***
2	4	-4,09***	-4,01*** (a)
2	5	-4,11***	-3,95***

Fonte: Banco de Portugal. | Notas: Os coeficientes estimados correspondem ao impacto no z-score da variação de 1 unidade de cada variável independente (no caso das *dummies*, mede o impacto dessa característica se verificar). Nos modelos múltiplos, os termos específicos dimensão-setor correspondem à constante estimada do respetivo modelo. No modelo conjunto, correspondem à constante estimada do modelo adicionada dos coeficientes estimados para cada *dummy* de dimensão e setor e para a interação entre ambas (a categoria 1 de cada *dummy* é a base). Os valores apresentados para as restantes variáveis correspondem à soma dos coeficientes estimados para cada uma das variáveis individualmente com os coeficientes estimados para a interação com as *dummies* de dimensão e setor. Foi utilizado o estimador robusto da matriz de variâncias e covariâncias. *** p<0,01, ** p<0,05 e *p<0,1. (a) No modelo conjunto, alguns dos impactos calculados incluem algum coeficiente com *p-value* superior a 0,001.

3.2 Fase de projeção (choques climáticos)

Com recurso às relações estimadas na fase anterior, é possível projetar as variáveis contabilísticas das SNF no horizonte de muito longo-prazo dos cenários de transição climática da NGFS. Esta fase do exercício considerou a amostra de 50 mil empresas detalhada na secção 2 Dados. Para cada uma destas empresas, o Banco de Portugal obteve estimativas das emissões de GEE (*scopes* 1, 2 e 3) fornecidas pela Urgentem.

O *z-score* e a PD projetados no horizonte 2021-2050, no cenário climático *s*, são calculados de acordo com as equações PD.8¹³ e utilizam os rácios de rentabilidade e de endividamento projetados, \widehat{ROA}_{it}^s e \widehat{Lev}_{it}^s , respetivamente.

$$\begin{aligned} \hat{z}_{it}^s &= \hat{\alpha} + \hat{\delta}_i + \widehat{\beta}_1 \widehat{ROA}_{it}^s + \widehat{\beta}_2 \widehat{Lev}_{it}^s \\ \widehat{PD}_{it}^s &= \frac{1}{1 + e^{-\hat{z}_{it}^s}} \end{aligned} \quad \text{PD.8}$$

Choques sobre o rácio de rentabilidade

As projeções das variáveis financeiras necessárias para o cálculo do rácio de rentabilidade (ROA) recorrem às versões modificadas das equações PD.5, PD.6 e PD.7 com a incorporação de choques que procuram reproduzir os efeitos da materialização de riscos climáticos de transição e físicos.

No caso do ativo total, são projetadas duas trajetórias de evolução ao longo do horizonte 2021-2050, para cada cenário *s*: uma trajetória que não é afetada por riscos climáticos, a não ser os que decorrem da evolução do PIB nominal em cada um dos cenários, e que será utilizada na projeção dos custos operacionais e como denominador nas equações PD.3 e PD.4; uma outra que contém as perdas associadas à materialização dos riscos físicos, utilizada na projeção das receitas. Esta solução assume, por um lado, que a destruição de capital físico diminui a capacidade produtiva da empresa e, por essa via, as receitas geradas, enquanto, por outro lado, os custos (fixos) relacionados com os ativos físicos danificados pela materialização de riscos físicos são sempre incorridos pela empresa. Assim, o ativo total projetado sem e com choque relacionado com o risco físico é dado pelas equações PD.9¹⁴ e PD.10 abaixo, sendo o choque dado pela equação PD.11.

$$\widehat{\ln TA}_{it}^s = \hat{\alpha} + \hat{\delta}_i + \widehat{\beta}_1 \widehat{\ln TA}_{i,t-1}^s + \widehat{\beta}_2 \ln GDP_t^s \quad \text{PD.9}$$

$$T\widehat{ADmg}_{it}^s = \widehat{TA}_{it}^s + STA_{it}^s \quad \text{PD.10}$$

$$STA_{it}^s = CFR_{it}^s \times AFR_{it}^s \times PhC_{it}^s, \text{ em que } STA_{it}^s \leq 0 \quad \text{PD.11}$$

Na equação PD.11, o choque STA_{it}^s corresponde ao impacto do risco físico no cenário *s*, para a empresa *i*, no ano de projeção *t*. Este choque é composto por um termo relacionado com o risco físico crónico (CFR_{it}^s), i.e. com os impactos económicos das alterações de longo-prazo nos padrões climáticos, e por um termo que procura captar os impactos dos fenómenos climáticos extremos,

¹³ Note-se que, por definição, o efeito fixo de período varia no tempo histórico, desconhecendo-se o seu valor para os anos de projeção. Sendo a sua média no período de estimação próxima de zero, assumiu-se que $\hat{\theta}_t = 0$, para $t \in [2021; 2050]$.

¹⁴ O PIB nominal (preços correntes) para cada cenário de transição climática não está disponível no [portal de cenários da NGFS](#) diretamente em nível, mas sim em desvios face ao PIB real (preços de 2016) de um cenário base, i.e. num mundo sem alterações climáticas. O PIB nominal foi calculado recorrendo a estas e outras variáveis disponíveis nos cenários, como a inflação no cenário base e os respetivos desvios, em cada cenário.

designados de riscos físicos agudos (AFR_{it}^s). Adicionalmente, estes termos são multiplicados pelo capital físico¹⁵ de cada SNF, PhC_{it}^s , conduzindo à estimativa do choque de risco físico em euros.

No caso do risco físico crónico, o impacto médio nas SNF é captado pelo rácio Dmg_t^s / PhC_t^s (Gráfico 2) multiplicado pelos desvios das projeções da temperatura do distrito da sede da empresa i face à média nacional em 2020 (normalizada para 1) em cada cenário (Gráfico 3) – equação PD.12. A variável Dmg_t^s corresponde ao valor das perdas anuais em termos de atividade económica, em Portugal, em cada cenário.¹⁶ Esta variável reflete essencialmente diminuições de produtividade (trabalho, terra e capital) relacionadas com o aumento da temperatura média global, pelo que, tratando-se de uma estimativa agregada para o total da economia, é escalada pelo capital físico agregado de todas as SNF. Os desvios normalizados da temperatura procuram captar a heterogeneidade geográfica dos efeitos do aquecimento global.

$$CFR_{it}^s = \frac{Dmg_t^s}{PhC_t^s} \times \left(1 + \frac{Temp_{it}^s - \overline{Temp}_{2020}^s}{\overline{Temp}_{2020}^s} \right) \quad \text{PD.12}$$

Os riscos físicos agudos são modelizados recorrendo aos *scores* calculados pela Moody's COD, os quais traduzem o nível de risco no longo-prazo associado à ocorrência de eventos climáticos extremos consoante a localização geográfica. Neste exercício são considerados três eventos de risco físico (inundações, incêndios e subida do nível da água do mar¹⁷), sendo calculado um desvio face à média nacional (normalizada para 1) para cada um deles. A componente de riscos físicos agudos corresponde ao produto dos desvios normalizados de cada evento extremo, impondo um patamar mínimo de 1 para o desvio de cada evento, i.e. ao nível da média nacional, conforme a equação PD.13. Este procedimento evita que desvios inferiores e superiores à média em diferentes eventos se compensem mutuamente. Deste modo, os efeitos deste canal concentram-se nas SNF com maior risco físico.

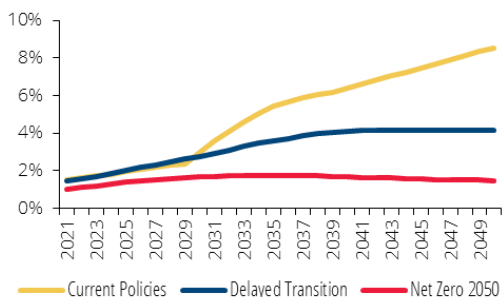
$$AFR_{it}^s = \prod_h^H \max \left\{ 1; \frac{score_{it}^h}{score_t^h} \right\} \quad \text{PD.13}$$

¹⁵ Corresponde ao agregado do ativo fixo tangível e o ativo biológico de todas as SNF. Para cada empresa individualmente, considerou-se que o capital físico cresce, em cada cenário, à taxa de crescimento do ativo total projetado (não danificado).

¹⁶ As perdas de atividade económica foram estimadas por funções de dano calibradas pelo consórcio que produziu os cenários da NGFS utilizando os níveis de temperatura inferidos pelas trajetórias das emissões de GEE projetadas em cada cenário. Neste exercício consideraram-se os danos calculados com o percentil 95 para o cenário *Current Policies*; a mediana no cenário *Delayed Transition*; e o percentil 5 no cenário *Net Zero 2050*. Para mais informações sobre a calibração das funções de dano, consultar a documentação técnica dos cenários da NGFS e Kalkuhl & Wenz (2020).

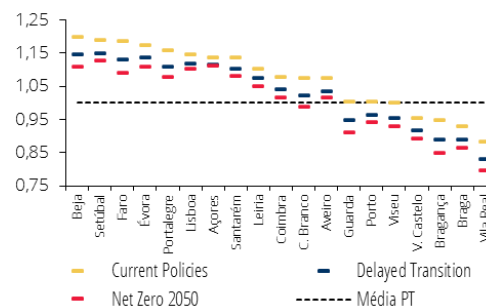
¹⁷ O risco de subida do nível da água do mar é, com efeito, um risco físico crónico, pois os seus efeitos observam-se gradualmente ao longo do tempo. Deste modo, este risco poderia ser incluído na equação PD.12 e excluído da equação PD.13. Porém, de modo a simplificar as equações apresentadas, optou-se por incluir toda a informação sobre riscos físicos proveniente dos *scores* da Moody's COD na equação PD.13. Note-se que, pela equação PD.11, a solução é neutra do ponto de vista algébrico.

Gráfico 2 • Perdas de PIB projetadas
| Em percentagem do capital físico



Fontes: NGFS e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: Nos cenários *Current Policies* e *Delayed Transition*, até 2029, consideraram-se os danos calculados com a mediana da trajetória da temperatura média global (GMT) até ao final do século; a partir de 2030, no cenário *Current Policies*, considerou-se o percentil 95, mantendo-se a mediana no cenário *Delayed Transition*; no cenário *Net Zero 2050* considerou-se o percentil 5. Para mais detalhes sobre as funções de dano, consultar o documento metodológico dos cenários da NGFS, disponível no [portal de cenários da NGFS](#).

Gráfico 3 • Desvios da temperatura face à média nacional em 2020, por distrito, projeção em 2050



Fontes: Climate Analytics e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: A informação para a Região Autónoma da Madeira não está disponível, pelo que se aplicou os dados para a Região Autónoma dos Açores a ambas as regiões autónomas. Média nacional em 2020 normalizada para 1. No cenário *Net zero 2050* considerou-se o percentil 2,5 da distribuição da temperatura projetada em cada distrito; no cenário *Delayed Transition* a mediana; no cenário *Current Policies* o percentil 97,5.

A equação PD.14 das receitas das SNF no período de projeção incorpora, além do ativo danificado calculado na equação PD.10, um choque relacionado com os riscos de transição, que pretende capturar a diminuição da procura associada a bens ou serviços com emissões de GEE mais elevadas aquando do seu consumo ou utilização. O choque resulta da multiplicação de uma taxa de impostos indiretos ajustada ($AdjVAT_{it}^s$) por uma semi-elasticidade (θ_{ECB}) estimada conforme Alogoskoufis et al. (2021), num modelo semelhante à equação PD.14.

$$\widehat{\ln Rev}_{it}^s = \hat{\alpha} + \hat{\delta}_i + \hat{\beta}_1 \widehat{\ln Rev}_{i,t-1}^s + \hat{\beta}_2 \widehat{\ln TADmg}_{it}^s + \theta_{ECB} \times AdjVAT_{it}^s \quad \text{PD.14}$$

Neste exercício, a taxa de impostos indiretos ajustada corresponde à taxa média de IVA a nível nacional em 2021 (em percentagem), acrescida de um adicional que aumenta ao longo do horizonte de projeção, com perfis diferentes consoante o cenário. Os adicionais à taxa média de IVA são estabelecidos de acordo com a intensidade carbónica de cada SNF no ano de 2020, aferida pelas emissões de GEE *scope 3*, na categoria de utilização dos bens vendidos, relativizadas pelas receitas nesse ano. O adicional aumenta linearmente ao longo da distribuição (por decil) da intensidade carbónica até ao máximo arbitrariamente estabelecido para um dado ano e cenário (Quadro 3). Assim, o primeiro decil da distribuição da intensidade carbónica (as SNF com menor intensidade carbónica) tem associado um adicional de 0 pp em todo o horizonte e o décimo decil (as SNF com maior intensidade carbónica) tem associado um adicional de 3 pp em 2035 no cenário *Delayed Transition* e 2 pp em 2030 no cenário *Net Zero 2050*. Para o cenário *Current Policies* em todos os anos e para o cenário *Delayed Transition* até 2029, considerou-se que o adicional é de 0 pp para qualquer nível de intensidade carbónica, decorrendo da ausência de transição climática. Por fim, de modo a refletir o progresso da transição ao longo do horizonte de projeção e a sua maturidade ao fim de alguns anos, assumiu-se que o choque deve atingir um pico e desvanecer-se gradualmente a partir desse momento.

Quadro 3 • Adicional à taxa de IVA no choque de procura (risco de transição)
| Em percentagem

Cenário	Ano	Decil 2	Decil 4	Decil 6	Decil 8	Decil 10
<i>Delayed Transition</i>	2025	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2030	0,22	0,67	1,11	1,56	2,00
	2035	0,33	1,00	1,67	2,33	3,00
	2040	0,22	0,67	1,11	1,56	2,00
	2045	0,11	0,33	0,56	0,78	1,00
	2050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Net Zero 2050</i>	2025	0,11	0,33	0,56	0,78	1,00
	2030	0,22	0,67	1,11	1,56	2,00
	2035	0,11	0,33	0,56	0,78	1,00
	2040	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2045	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Cálculos do Banco de Portugal. | Notas: Para o cenário *Current Policies*, o adicional é calibrado para 0% em todo o horizonte de projeção. As células a cinzento correspondem aos choques máximos arbitrariamente definidos para as SNF no decil 10 da intensidade carbónica.

A projeção dos custos operacionais das SNF é complementada com dois choques relacionados com os riscos de transição e um com o risco físico. Os choques sobre os custos operacionais são adicionados linearmente às projeções dos custos operacionais em euros e são definidos em variações face a 2021, tal como ilustrado pelas equações PD.15.

$$\ln \widehat{OpEx}_{it}^s = \hat{\alpha} + \hat{\delta}_i + \ln \widehat{OpEx}_{i,t-1}^s + \beta_2 \ln TA_{it}^s \quad \text{PD.15}$$

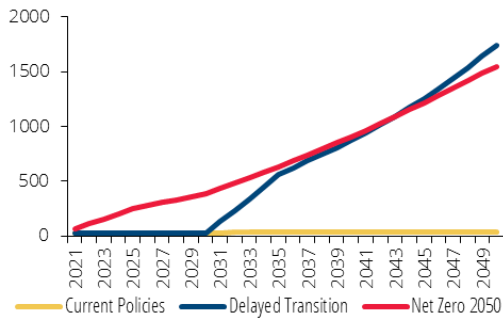
$$\widehat{OpEx}_{it}^s = e^{\ln \widehat{OpEx}_{it}^s} + \Delta CarbonCost_{it}^s + \Delta EnergyCost_{it}^s + \Delta InsuranceCost_{it}^s$$

Na equação PD.16, $\Delta CarbonCost_{it}^s$ corresponde ao incremento anual dos custos relacionados com as emissões de GEE (risco de transição) e depende, em cada cenário, do preço ($PCarbon_t^s$) por tonelada equivalente de CO2 (tCO2e) e das emissões *scope 1* de cada SNF ($Scope1_{it}^s$). No cenário *Current Policies*, o preço do carbono mantém-se estável, ilustrando a ausência de políticas climáticas com vista à redução das emissões de GEE (Gráfico 4). Pelo contrário, no cenário *Net Zero 2050*, o preço do carbono aumenta consistentemente até 2050, impondo um custo cada vez maior sobre as emissões diretas de GEE e constituindo um incentivo à sua redução. O aumento do preço do carbono ocorre apenas a partir de 2030 no cenário *Delayed Transition* e desenvolve-se a um ritmo mais elevado do que no cenário *Net Zero 2050*, refletindo o caráter mais urgente da transição, dado o momento mais tardio em que se inicia.

$$\Delta CarbonCost_{it}^s = PCarbon_t^s \times Scope1_{it}^s - PCarbon_{2021}^s \times Scope1_{i,2021}^s \quad \text{PD.16}$$

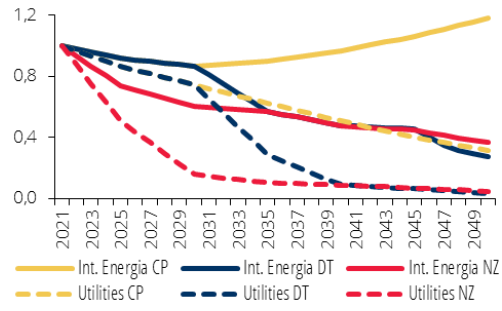
As emissões *scope 1* das SNF diminuem em todos os cenários e setores, mas a ritmos diferentes. No cenário *Current Policies*, as emissões diminuem a um ritmo lento, refletindo apenas as políticas climáticas atuais, insuficientes para alcançar os objetivos do Acordo de Paris. No caso dos *Net Zero 2050* e *Delayed Transition*, as emissões diminuem de forma mais acentuada de modo a alcançar as metas que permitem limitar o aumento da temperatura média global a 2°C face ao período pré-industrial. Contudo, o perfil de redução das emissões difere consoante o setor, ditando impactos setoriais diferenciados com a introdução deste custo (Gráfico 5).

Gráfico 4 • Preço do carbono | Em euros por tCO₂e



Fontes: NGFS e cálculos do Banco de Portugal.

Gráfico 5 • Emissões de GEE scope 1 | Em índice (2021=1)



Fontes: Urgentem e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: As emissões *scope 1* correspondem às emissões diretas de GEE das SNF (nota de rodapé 16 na secção 2.1.2 do relatório). CP — *Current Policies*; DT — *Delayed Transition*; NZ — *Net Zero 2050*.

O segundo choque dos riscos de transição sobre os custos operacionais procura simular a variação dos custos com a energia em cada cenário de transição. Na equação PD.17, o aumento do custo da energia ($\Delta EnergyCost_{it}^s$) para a empresa i é função dos preços ($PEnergy_{et}^s$), em euros por gigajoule (G), e dos consumos ($ConsEnergy_{eit}^s$), em GJ, de cada forma de energia e .

$$\Delta EnergyCost_{it}^s = \sum_e (PEnergy_{et}^s \times ConsEnergy_{eit}^s) - \sum_e (PEnergy_{e,2021}^s \times ConsEnergy_{ei,2021}^s) \quad PD.17$$

O consumo de energia por SNF não se encontra disponível nas bases de dados utilizadas, mas pode ser estimado recorrendo às emissões de GEE de cada empresa, fornecidas pela Urgentem. Existem dois tipos de emissões de GEE originados pelo consumo de energia pela empresa: um de natureza direta (emissões *scope 1*), que decorre da combustão de fontes de energia nas instalações ou equipamentos controlados pela própria entidade; o outro, de natureza indireta (emissões *scope 2*), que corresponde às emissões produzidas pela eletricidade e calor¹⁸ adquiridos a terceiros. Assim, foram estimados consumos de energia por empresa sob duas formas: Combustíveis, utilizando as emissões de GEE *scope 1*; e Eletricidade, com o auxílio das emissões *scope 2*. Para o preço da Eletricidade foi utilizada a variável disponível nos cenários da NGFS. Para os Combustíveis, utilizou-se uma média dos preços dos combustíveis considerados neste exercício.

As equações PD.18 ilustram a mecânica algébrica do processo de estimação dos consumos energéticos, onde $Scope1_{it}^s$ e $Scope2_{it}^s$ representam as emissões *scope 1* e *2* de cada SNF i em cada ano t do cenário s ; $w_{C,pt}^s$ e $w_{E,pt}^s$ são o peso que cada energia primária¹⁹ p tem no total de energias primárias poluentes (i.e. excluindo renováveis), respetivamente na produção de Combustíveis (C) e Eletricidade (E); $wb_{C,it}^s$ e $wb_{E,t}^s$ são os pesos das energias primárias poluentes no consumo total de fontes primárias (i.e. incluindo renováveis), respetivamente para a produção de Combustíveis

¹⁸ Por simplificação de linguagem, “eletricidade e calor” será referido a partir deste ponto como apenas “Eletricidade”.

¹⁹ A energia primária corresponde às fontes de energia diretamente encontradas na natureza (e.g., petróleo, gás natural, energia solar etc.).

e Eletricidade; e CI_p^C e CI_p^E são os conteúdos carbónicos²⁰ médios de cada fonte primária p utilizada na produção de Combustíveis e Eletricidade, respetivamente.

$$ConsEnergy_{C,it}^S = \frac{1}{wb_{C,it}^S} \times \sum_p \frac{Scope1_{it}^S \times w_{C,pit}^S}{CI_p^C}$$

$$ConsEnergy_{E,it}^S = \frac{1}{wb_{E,t}^S} \times \sum_p \frac{Scope2_{it}^S \times w_{E,pt}^S}{CI_p^E}, \quad PD.18$$

$p \in \{\text{carvão, petróleo, gás, biomassa}\}$

A estimação dos consumos através das equações PD.18 desenvolveu-se em dois passos: o primeiro passo consistiu na projeção até 2050 do *mix* energético para os Combustíveis e para a Eletricidade, em cada cenário, ou seja, os pesos $w_{C,pit}^S$, $w_{E,pt}^S$, $wb_{C,it}^S$ e $wb_{E,t}^S$; o segundo passo corresponde à estimação dos consumos, em função dos pesos estimados no primeiro passo, utilizando a equação PD.18.

O *mix* energético corresponde às quantidades de energia consumidas, por fonte primária, para produzir outra forma de energia (energia secundária²¹). Note-se que a forma de energia que aqui se designa por Combustíveis é um agregado muito heterogéneo, pelo que a sua composição por setor de atividade é também muito diversa. Por este motivo, o *mix* energético usado na produção dos Combustíveis foi projetado com alguma desagregação setorial, i.e. os pesos $w_{C,pit}^S$ e $wb_{C,it}^S$ são específicos ao setor de atividade a que pertence a empresa i .

Para operacionalizar este primeiro passo, obteve-se o balanço energético de Portugal em 2020, disponível no Eurostat, o qual contém as quantidades (em kilotoneladas equivalentes de petróleo) de cada fonte de energia primária consumida para produzir, por um lado, Eletricidade, e, por outro, para transformação em outras formas de energia, i.e. para produzir Combustíveis. As fontes de energia primária foram agrupadas em categorias que correspondem às variáveis de consumo de energia primária disponíveis nos cenários da NGFS (Quadro 4) e consideradas relevantes para o caso português (carvão, petróleo, gás natural, biomassa e outras energias renováveis).²² As trajetórias destas variáveis foram utilizadas para projetar até 2050 o consumo de cada fonte de energia primária utilizada na produção de Eletricidade e de Combustíveis, a partir das quantidades de cada fonte de energia primária consumidas em 2020. Adicionalmente, no caso dos Combustíveis, foi projetado o *mix* de fontes primárias utilizado para produzir a energia final²³ (exceto eletricidade) consumida por cada setor de atividade²⁴. Assim, enquanto para a Eletricidade o *mix* energético é igual para todas as empresas, para os Combustíveis varia consoante o setor de atividade.

²⁰ O conteúdo carbónico de um combustível corresponde à quantidade de gases com efeito de estufa, expressos em tCO₂e, libertados pela combustão de uma determinada quantidade desse combustível. Os conteúdos carbónicos utilizados neste exercício correspondem a uma média dos coeficientes disponibilizados pelo IPCC (*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*) ponderada pelos consumos observados em 2020 de cada fonte de energia primária, em Portugal.

²¹ A energia secundária refere-se às formas de energia não encontradas diretamente na natureza (e.g., eletricidade, combustíveis refinados), i.e. produzidas com recurso a energias primárias.

²² Devido à indisponibilidade nos cenários NGFS de algumas variáveis para Portugal, utilizaram-se as projeções para a União Europeia. Dado que para algumas energias primárias, além do consumo total, existe o consumo com a finalidade de produção de eletricidade, o consumo de energias primárias para produção de combustíveis foi calculado por diferença entre o consumo total dessa fonte primária e o consumo para produção de eletricidade.

²³ Energia disponível para consumo pelo consumidor final, após a utilização pelo setor energético.

²⁴ Os balanços energéticos compilados pelo Eurostat dividem o consumo de energia final em 25 setores, dos quais 13 são setores industriais, 6 dos transportes, o setor energético e 5 para outros setores (que inclui comércio, serviços e as atividades das famílias). Para mais detalhe, consultar a documentação metodológica do Eurostat.

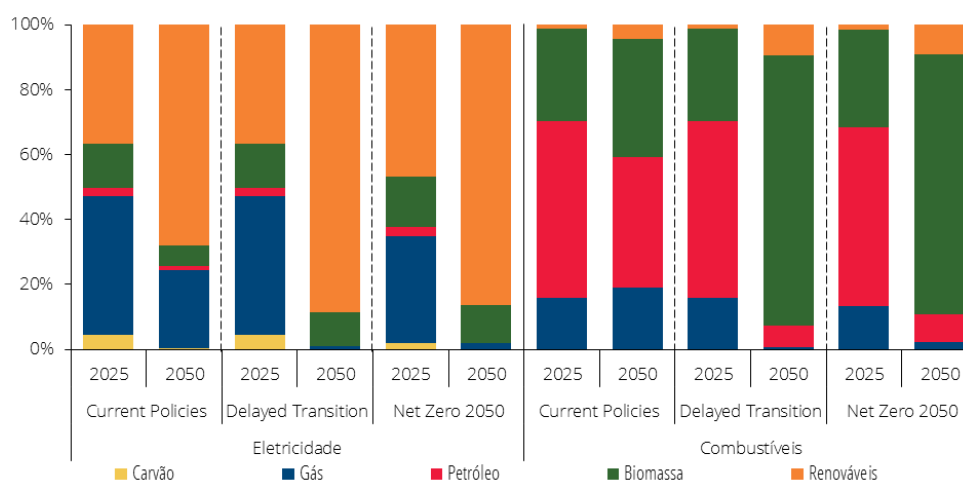
Quadro 4 • Balanço energético estilizado

		Inputs (fontes)						
		Carvão	Petróleo	Gás	Biomassa	Renováveis	Eletricidade	
Outputs (utilizações)	Energia primária	Produção primária	Produção de energias primárias (e.g., extração de combustíveis fósseis)					
		Outras variações	Outras variações de energias primárias (e.g., importações e exportações)					
	Energia secundária	Produção de eletricidade	Quantidades de energia para o <i>mix</i> da produção de eletricidade					
		Produção de combustíveis						
	Energia final	Consumo de energia final						
		Sector A	Quantidades de energia para o <i>mix</i> da produção de combustíveis consumidos pelo sector A					
		Sector Z	Quantidades de energia para o <i>mix</i> da produção de combustíveis consumidos pelo sector Z					

Notas: Os *inputs* referem-se às fontes de energia primária e à eletricidade e calor consumidos. Os *outputs* referem-se às utilizações das energias primárias para a produção de outras formas de energia e para consumo final. As várias fontes de energia primária (*inputs*) detalhadas do balanço energético do Eurostat foram agrupadas em categorias correspondentes às energias primárias disponíveis nos cenários da NGFS, com exceção da eletricidade, para a qual não existe produção primária por definição.

No cenário *Current Policies*, os combustíveis fósseis mantêm um papel relevante no *mix* energético da Eletricidade e dos Combustíveis (gás natural e petróleo) no final do horizonte de projeção (Gráfico 6). Por seu turno, nos cenários onde ocorre a transição energética, as fontes renováveis assumem um papel preponderante na produção de Eletricidade e a biomassa na produção de Combustíveis (biocombustíveis), induzindo uma redução mais acentuada das emissões de GEE.

Gráfico 6 • *Mix* energético de energias primárias | Em percentagem



Fontes: NGFS, Eurostat e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: O *mix* dos combustíveis corresponde a uma média ponderada dos setores de atividade.

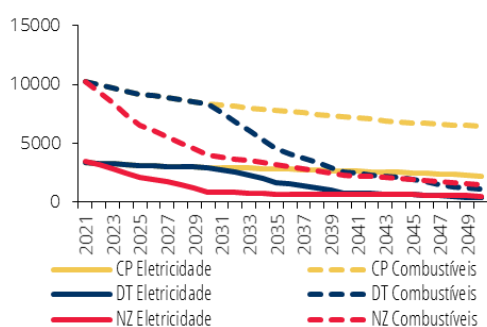
No segundo passo, as emissões *scope 2* de cada SNF foram decompostas pelas quatro fontes primárias poluentes (carvão, gás natural, petróleo e biomassa), utilizando o *mix* da Eletricidade

projetado, e dividindo-se cada parcela pelos conteúdos carbónicos médios de cada fonte primária, de modo a obter estimativas do consumo elétrico por fonte primária. Para acautelar o consumo elétrico proveniente de fontes renováveis, dividiu-se o somatório destas estimativas pela proporção de energias poluentes. Para o consumo de Combustíveis procedeu-se de igual forma, mas utilizando as emissões *scope 1* e o *mix* energético correspondente ao setor ao qual pertence a SNF.

Os consumos estimados, a nível agregado, seguem uma tendência de diminuição em todos os cenários. Em conformidade com a narrativa dos cenários, a trajetória decrescente inicia-se mais cedo no cenário *Net Zero 2050* e mais tarde e de forma mais abrupta no cenário *Delayed Transition* (Gráfico 7).

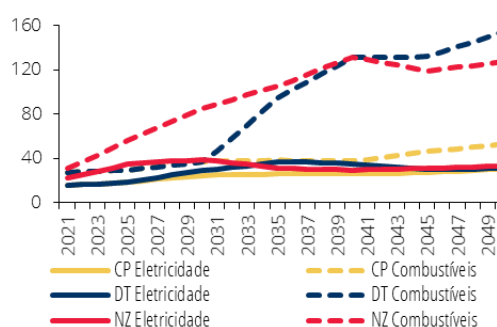
Os preços dos combustíveis, dominados por fontes não renováveis (sobretudo petróleo), aumentam de forma significativa nos cenários *Delayed Transition* e *Net Zero 2050*, refletindo os maiores custos (impostos sobre as emissões de GEE) associados à sua utilização (Gráfico 8). Em comparação, os preços da eletricidade apresentam um comportamento mais estável, embora registem também aumentos durante o período em que a transição é mais intensa, revertendo para valores próximos dos atuais em 2050.

Gráfico 7 • Consumos energéticos estimados | Em TJ



Fontes: Urgentem, NGFS, Eurostat e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: 1 terajoule (TJ) = 1000 gigajoules (GJ). CP — *Current Policies*; DT — *Delayed Transition*; NZ — *Net Zero 2050*.

Gráfico 8 • Preços da energia | Em euros por GJ



Fontes: NGFS e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: O preço dos combustíveis nos vários cenários corresponde a uma média dos preços das energias secundárias ou primárias (conforme disponível) ponderadas pelo respetivo peso no *mix* energético dos combustíveis que não eletricidade. CP — *Current Policies*; DT — *Delayed Transition*; NZ — *Net Zero 2050*.

Por seu turno, o choque nos custos operacionais relacionado com o risco físico é calculado de acordo com a equação PD.19 e modela o aumento dos prémios dos seguros que as empresas suportam para cobrir os riscos de destruição dos seus ativos devido a eventos climáticos extremos. Este choque corresponde ao aumento do preço actuarialmente justo do seguro que cobre os danos nos ativos físicos, podendo também captar o aumento de custos com seguros de saúde para os trabalhadores ou mesmo o maior risco operacional associado a um maior desconforto térmico.

$$\Delta InsuranceCost_{it}^s = InsuranceCost_{it}^s - InsuranceCost_{i,2021}^s \quad PD.19$$

O termo $InsuranceCost_{it}^s$ é construído de forma semelhante ao choque sobre o ativo calculado com a equação PD.11, mas com o fator multiplicativo I_t^s que corresponde à fração de ativos seguros em cada ano para um dado cenário — equação PD.20.

$$InsuranceCost_{it}^s = CFR_{it}^s \times AFR_{it}^s \times I_t^s \times PhC_{it}^s \quad PD.20$$

O fator I_t^s em 2021 foi estabelecido como a fração das perdas económicas causadas por fenómenos climatéricos e climáticos extremos que estava coberta por seguros, com base em informação histórica do período entre 1980 e 2020 nos países do Espaço Económico Europeu.²⁵ Considerou-se que o valor para Portugal, muito abaixo da média da União Europeia, deveria adotar uma trajetória de convergência para esta meta até 2050. Contudo, para refletir a maior incidência de riscos físicos nos cenários *Current Policies* e *Delayed Transition*, e a consequente maior necessidade de cobertura dos ativos, a partir de 2030 a evolução da fração de ativos seguros nestes dois cenários diverge da projetada para o cenário *Net Zero 2050* (Gráfico 9). Assim, a partir de 2030, a fração de ativos seguros adota uma trajetória convergente com o valor máximo entre os países europeus (Dinamarca) no cenário *Current Policies* e com o percentil 75 de todos os países europeus (Suíça) no cenário *Delayed Transition*.

Choques sobre o rácio de endividamento

A projeção do rácio de endividamento com choques climáticos segue uma metodologia mais simples do que no caso do ROA, uma vez que não foi especificada uma equação para evolução da dívida financeira. Para esta variável, assumiu-se uma variação à mesma taxa de crescimento estimada para o ativo total não danificado (denominador). Assim, antes da aplicação de choques, o rácio de endividamento de cada empresa mantém-se constante no horizonte de projeção.

Neste exercício, foi calibrado um choque relacionado com o risco de transição e outro com o risco físico. O rácio de endividamento incorporando os dois choques é calculado de acordo com a equação PD.21.

$$\widehat{Lev}_{it}^s = \frac{\widehat{FD}_{it}^s + Investment_{it}^s + UninsuredDamage_{it}^s}{\widehat{TA}_{it}^s} \quad \text{PD.21}$$

O primeiro choque ($Investment_{it}^s$) consiste num aumento do investimento na reconversão da tecnologia produtiva em resultado da necessidade de diminuir as emissões de GEE (PD.22), assumindo-se que esse investimento é inteiramente financiado pelo aumento da dívida financeira das SNF. A dívida financeira deverá aumentar em proporção da diminuição anual das emissões de GEE totais de cada SNF (ΔGHG_{it}^s). Para os anos de 2021 e 2022, o custo de reconversão médio ($ReplacementCost_t^s$) foi calibrado com base nos custos de novas instalações de produção de energia ($Cost_{kt}$), para cada tecnologia k , estimados por Gillingham e Stock (2018)²⁶ e no peso que cada uma dessas tecnologias tem na produção de energia elétrica (w_{kt}^s), dado pelos cenários da NGFS. Para os anos seguintes, a trajetória média dos custos dessas tecnologias nos cenários da NGFS ($cc_arc_t^s$) foi utilizada para projetar o $ReplacementCost_t^s$ no resto do horizonte, utilizando os mesmos pesos w_{kt}^s .

$$Investment_{it}^s = \Delta GHG_{it}^s \times ReplacementCost_t^s \quad \text{PD.22}$$

$$ReplacementCost_t^s = \sum_k Cost_{kt} \times w_{kt}^s \quad \text{se } t \leq 2022 \quad \text{PD.23}$$

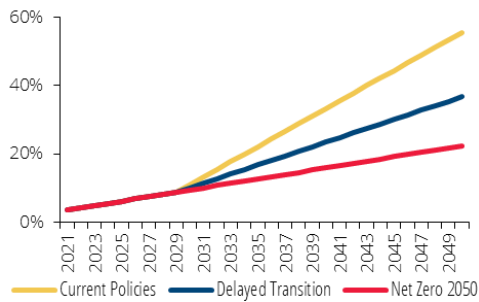
$$ReplacementCost_t^s = ReplacementCost_{t-1}^s \times (1 + cc_arc_t^s) \quad \text{se } t > 2022$$

²⁵ Base de dados disponível no [site da Agência Europeia do Ambiente](#).

²⁶ As tecnologias consideradas foram: centrais de carvão com tecnologia de captura e armazenamento de carbono (CCS); centrais a gás natural com CCS; centrais convencionais a gás natural; centrais fotovoltaicas; centrais de energia solar concentrada (CSP).

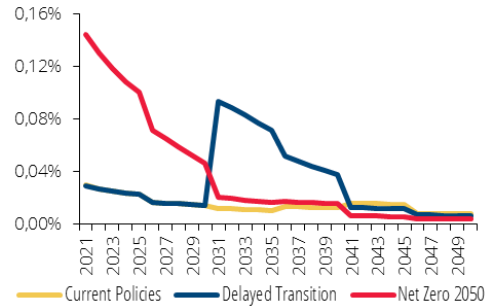
Tal como esperado, no cenário *Current Policies* e nos primeiros anos do cenário *Delayed Transition* o custo de reconversão médio é residual, devido à reduzida diminuição das emissões de GEE (Gráfico 10). Este choque é mais significativo nas fases mais intensas da transição climática dos cenários *Net Zero 2050* e *Delayed Transition*.

Gráfico 9 • Fração de ativos seguros
| Em percentagem



Fontes: Agência Europeia do Ambiente e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: Este valor foi calibrado de modo a convergir, a partir de 2030, com a cobertura máxima, o percentil 75 e a média da União Europeia, observados em 2021, para os cenários *Current Policies*, *Delayed Transition* e *Net Zero 2050*, respetivamente. Entre 2021 e 2029, a trajetória é a consistente com a convergência, em 2050, com a média da UE, e é igual para todos os cenários.

Gráfico 10 • Custo de reconversão médio
| Em percentagem do ativo



Fontes: NGFS e cálculos do Banco de Portugal. | Notas: Custos de 2021 e 2022 calibrados de acordo com Gillingham e Stock (2018).

O choque relacionado com o risco físico ($UninsuredDamage_{it}^S$) é calculado de forma semelhante à equação PD.18, mas substituindo I_t^S por $1 - I_t^S$, ou seja, pela fração dos ativos que não estão cobertos por seguros e, como tal, são suportados diretamente pelas empresas. Assim, a reposição do capital destruído pela materialização dos riscos físicos implica o aumento da dívida financeira das SNF no mesmo montante dos ativos destruídos, mas não segurados — equação PD.24.

$$UninsuredDamage_{it}^S = CFR_{it}^S \times AFR_{it}^S \times (1 - I_t^S) \times PhC_{it}^S \quad PD.24$$

4 Estimação da perda em caso de incumprimento (LGD)

As alterações climáticas decorrentes do aquecimento global associam-se à materialização mais frequente e mais intensa dos riscos físicos, com potencial impacto no valor dos colaterais dos empréstimos. Os cenários da NGFS incorporam uma estimativa da materialização dos riscos físicos crónicos, isto é, o impacto do aumento de temperatura média na atividade económica entre 2020 e 2050. O aumento da temperatura traduz-se numa diminuição da atividade económica e na degradação mais acelerada dos ativos físicos, que condicionam a evolução do PIB e a valorização dos ativos na economia. O maior desgaste dos ativos físicos e a sua potencial desvalorização refletem-se no valor dos colaterais dos empréstimos, contribuindo para um aumento das perdas esperadas das instituições financeiras.

A materialização mais frequente e com maior intensidade de eventos climáticos agudos, tal como incêndios ou inundações, também poderá diminuir o valor dos colaterais dos empréstimos. Em acréscimo à informação de riscos físicos crónicos incorporada nos cenários da NGFS, considerou-se a exposição dos ativos à materialização de riscos físicos agudos em função da localização geográfica das sedes das empresas.

O impacto da potencial materialização dos riscos físicos (crónicos e agudos) é incorporado na projeção da LGD dos empréstimos a SNF através da projeção do valor dos colaterais identificados na CRC para cada empréstimo. O valor dos colaterais projetado no horizonte 2020-50 é depois considerado em combinação com características do mutuário e do contrato de empréstimo gerando estimativas de LGD para o horizonte de avaliação. Esta secção descreve de forma sequencial a metodologia de estimação da LGD considerada neste exercício de projeção.

4.1 Definição de LGD e identificação dos colaterais

O ponto de partida para o cálculo da LGD nos diferentes cenários é a fração do montante em dívida não coberta por colateral, denominada de *LGD naive*, representada na expressão LGD.1. O rácio entre o valor do colateral e o montante em dívida, aqui denominado rácio V/M, será instrumental na projeção do valor do colateral nos cenários climáticos e na estimativa da taxa de recuperação do colateral pelas instituições financeiras.

$$LGD_{naive} = \max \left\{ 0; 1 - \frac{\text{Total de Colateral}}{\text{Montante vivo do contrato}} \right\}$$

em que

LGD.1

$$\frac{V}{M} \equiv \frac{\text{Total de Colateral}}{\text{Montante vivo do contrato}}$$

No âmbito da estimativa da LGD, considerou-se a informação de diferentes tipos de colateral identificados na CRC para cada empréstimo com referência a dezembro de 2019. Esta data de referência foi selecionada de forma a evitar considerar o acréscimo de créditos com garantia pública decorrente das medidas de apoio às empresas para mitigar os efeitos da pandemia de COVID-19.

Entre os diversos tipos de colateral destacam-se os que poderão sofrer danos decorrentes da materialização de riscos físicos e aqueles cujo valor poderá variar por materialização de riscos de transição. À semelhança do exercício de *stress test* do BCE, Alogoskoufis et al., (2021), foram considerados os colaterais expostos a danos físicos, e.g., imóveis comerciais ou residenciais. Além

disso, fez-se depender dos cenários climáticos a evolução do valor dos colaterais sob a forma de ativos financeiros.

O valor total de colateral associado a cada empréstimo c corresponde à soma de colateral físico e de colateral não físico (LGD. 2), os quais são categorizados de uma ou de outra forma consoante estão expostos ou não à deterioração física por eventos climáticos. O Quadro 5 detalha a afetação das diversas categorias de colateral da CRC por estas duas categorias. A categoria colateral físico inclui imóveis comerciais, imóveis para habitação e outros bens físicos. A categoria colateral não físico inclui garantias do setor público, numerário e depósitos, ações, e valores comerciais a receber. Optou-se por excluir os colaterais/garantias se identificados nas categorias Avais e Fianças ou Outra proteção, dada a elevada incerteza associada ao valor destes colaterais/garantias.

$$\textit{Total de Colateral} = \textit{Colateral físico} + \textit{Colateral não físico} \quad \text{LGD.2}$$

O colateral físico corresponde a cerca de 83% do total de colateral considerado neste exercício. Os imóveis comerciais, outras cauções de natureza real e outros bens imóveis são as categorias mais relevantes no total de colateral físico. Por seu turno, as ações e as garantias do setor público são os colaterais com montante mais elevado no colateral não físico. Assume-se que a disponibilidade do colateral se mantém até ao final do horizonte da simulação, independentemente da maturidade do crédito, não existindo reposições de colateral em caso de reduções de valor.

Quadro 5 • Categorização da informação de colateral da CRC por tipo de colateral físico ou não físico

Tipo de colateral/garantia	Proporção (dez. 19)	Físico/Não físico
Numerário e depósitos ou equiparados	2,5	
Títulos de dívida cotados/não cotados, empréstimos e apólices de seguros vida	0,6	
Ações e outras participações — cotadas	3,5	Colateral não físico
Ações e outras participações — não cotadas	2,0	
Garantias financeiras exceto derivados de crédito	6,5	
Valores comerciais a receber	1,0	
Imóvel comercial residencial	0,6	
Imóvel comercial retalho	4,0	
Imóvel comercial escritórios	11,3	
Imóvel comercial industrial	4,7	
Imóvel comercial outros	6,2	Colateral físico
Imóveis em construção para fins comerciais	2,1	
Imóveis destinados à habitação	9,7	
Outros imóveis	25,6	
Outras cauções de natureza real	19,8	

Fonte: Banco de Portugal. | Notas: As categorias apresentadas referem às categorias de proteção consideradas na CRC. As categorias de Fiança/Aval e Outra proteção não foram consideradas na análise e correspondem a cerca de 70% do total de proteções da CRC. Os colaterais destas categorias foram considerados quando identificados como tendo características de Linhas de Garantia Públicas (LGP), isto é, quando concedidas por entidades identificadas como Sociedades de garantia mútua, ou prestadas pelo setor institucional Administrações públicas. O montante identificado segundo este critério corresponde a 0,2% do montante total de colateral em dezembro de 2019 ou 15,1% do montante total de LGP consideradas neste exercício.

4.2 A evolução do rácio V/M

Considerou-se que na ausência de choques climáticos e de desgaste resultante de riscos físicos o valor do rácio V/M se mantém constante no horizonte de projeção. Este pressuposto desconsidera eventuais dinâmicas temporais associadas à gradual amortização do empréstimo até à maturidade ou o normal desgaste dos bens pela atividade operacional. Assim, e em conformidade com a hipótese de balanço estático, assume-se que o valor dos colaterais cresce ao mesmo ritmo da dívida das empresas, tal como considerado na modelização de probabilidades de incumprimento (Secção 3).

Consideraram-se dois canais de transmissão dos cenários climáticos no rácio V/M: (i) os efeitos do cenário macro-económico no valor dos colaterais e (ii) as perdas físicas decorrentes da materialização dos choques por riscos físicos crónicos e agudos. Os três cenários da NGFS — *Net Zero 2050*, *Delayed Transition* e *Current Policies* — incluem variáveis que foram utilizadas para

determinar a evolução do valor de alguns dos ativos considerados como colateral. Os fatores de atualização decorrem diretamente da evolução económica estimada para cada cenário (e.g., PIB) ou do impacto esperado de cada cenário nos valores de equilíbrio dos ativos (e.g., o índice de preços da habitação). Por seu turno, as perdas físicas refletem o total de desgaste dos ativos físicos na economia em acordo com a evolução da temperatura associada a cada um dos cenários, assim como a potencial materialização de eventos climáticos extremos e a destruição de valor a ela associada.

Uma vez que se assume o rácio V/M constante no horizonte de projeção, cada um dos canais climáticos afeta este rácio de forma independente. Para cada ano de projeção, o rácio V/M é multiplicado pela taxa de variação do fator de atualização do colateral e pela taxa de desgaste associada ao impacto do aumento de temperatura, ponderadas pelo peso de cada uma das categorias de colateral no montante total de colateral de um empréstimo, tal como descrito na equação LGD.3.

$$\frac{V^s}{M_{lt}} = \frac{V}{M_{l,2020}} \times \sum_g \left[w_g \times (1 + NGFS_{lg}^s(t,2020)) \times (1 + Taxa\ de\ perda_{lg}^s(t,2020)) \right] \quad \text{LGD.3}$$

Nesta equação, $\frac{V^s}{M_{lt}}$ corresponde ao rácio V/M do empréstimo l , no ano da estimativa t , em cada um dos cenários s da NGFS e $\frac{V}{M_{l,2020}}$ corresponde ao rácio V/M do empréstimo no momento inicial.²⁷ O termo $NGFS_{lg}^s(t,2020)$ corresponde ao fator de atualização entre o momento inicial da projeção (2020) e o ano de estimativa t do tipo de colateral g do empréstimo l no cenário s . Por seu turno, $Taxa\ de\ perda_{lg}^s(t,2020)$ corresponde à taxa de perda física do colateral físico g , entre o momento inicial e o ano da estimativa t do empréstimo l no cenário s . A taxa de perda física do colateral assume um valor nulo quando o colateral considerado não é físico. Por fim, w_g corresponde ao peso do tipo de colateral g no montante total de garantias do empréstimo l .

Cada cenário climático inclui um fator de atualização do valor de diferentes ativos. Para o conjunto de colateral para o qual existe um fator de atualização adequado, a variação no valor do colateral corresponde à diferença de valor entre os cenários *Current Policies* e *Delayed Transition* e o cenário *Net Zero 2050*. Esta opção limita a valorização dos ativos à diferença face ao cenário *Net Zero 2050*, desconsiderando o crescimento avaliado nesse cenário. Uma vez que este é o cenário mais favorável para o conjunto de variáveis económicas, esta opção identifica a desvalorização relativa do colateral nos cenários *Delayed transition* e *Current Policies*.

Foram considerados quatro fatores de atualização do colateral, correspondentes a variáveis dos cenários da NGFS: (i) a evolução do PIB nominal, aplicada aos imóveis comerciais e outros bens físicos; (ii) o Índice de Preços da Habitação, aplicado ao valor dos imóveis residenciais; (iii) a evolução de um índice acionista estimado para Portugal, aplicada ao montante de ações, e (iv) a taxa de intervenção do Banco Central, aplicada ao montante de numerário e depósitos, por se assumir que estes montantes estão afetos à instituição de crédito, e serão remunerados ao valor desta taxa.

A taxa de perda física para cada uma das categorias de colateral físico em cada contrato corresponde à taxa de variação entre o montante total de colateral físico diminuído das perdas estimadas e o montante inicial de colateral físico. A equação LGD.4 reproduz esta variação, onde $\sum_c^g Valor\ colateral\ fisico_{ct}^s$ corresponde à soma do valor de unidades de colateral c de colateral físico

²⁷ O momento inicial corresponde ao valor identificado em dezembro de 2019, que se assume como relevante em 2020, período inicial da projeção de longo prazo.

g , do empréstimo l no ano t no cenário s e $\sum_c^g \text{Valor colateral físico}_{c,2020}$ corresponde à soma do valor de unidades de colateral c de colateral físico g , do empréstimo l no momento inicial.²⁸

$$\text{Taxa de perda}_{lg(t,2020)}^s = \left(\frac{\sum_c^g \text{Valor colateral físico}_{ct}^s}{\sum_c^g \text{Valor colateral físico}_{c,2020}} \right) - 1 \quad \text{LGD.4}$$

A taxa de perda física do colateral incorpora duas componentes: (i) as perdas decorrentes do aumento de temperatura estimadas para cada um dos cenários e (ii) o impacto da materialização de eventos climáticos extremos. O valor do colateral c , num ano t , cenário s e NUTS3 N é definido pela equação LGD.5. As duas componentes do risco físico são comentadas de seguida.

$$\text{Valor colateral físico}_{ct}^s = \text{Valor colateral físico}_{c,2020} \times \left(\frac{\text{Dmg}_t^s}{\text{PhC}_t^s} \times \text{TempDev}_{cNt}^s \times \text{AFR}_{it}^s + 1 \right) \quad \text{LGD.5}$$

As perdas associadas aos cenários da NGFS traduzem os efeitos dos riscos climáticos crónicos, cuja intensidade depende de severidade do aumento de temperatura considerada em cada cenário, $\frac{\text{Dmg}_t^s}{\text{PhC}_t^s}$. Os cenários NGFS definem um montante anual do total de perdas por danos em ativos físicos (medidas em perdas de atividade económica) resultante do aumento de temperatura, Dmg_t^s , que após ser escalado pelo total de ativos físicos estimado para cada cenário, PhC_t^s , é imputado ao valor de cada um dos colaterais físicos, tal como descrito na secção 3.

As perdas associadas ao aumento de temperatura para o colateral físico são calibradas pelo desvio de temperatura face à média nacional estimado para a localização de cada colateral, TempDev_{cNt}^s . Tal como na metodologia considerada no cálculo das PD (PD.12), o rácio de perda estimada é ponderado pelo desvio de temperatura face à média nacional em 2020 do distrito onde se localiza o colateral. A CRC disponibiliza informação sobre localização dos colaterais associados a cada empréstimo, com detalhe ao nível da NUTS3. Uma vez que a categorização NUTS 3 não permite uma relação unívoca entre a região NUTS e o distrito, explorou-se a relação unívoca entre concelho e NUTS3 e entre concelho e distrito. Como ponto de partida, assumiu-se que o desvio de temperatura de cada concelho é igual ao desvio identificado para o distrito a que este pertence. Com base neste pressuposto, os desvios de temperatura ao nível da NUTS 3 referem-se ao desvio de temperatura dos concelhos considerados em cada classe de NUTS3 ponderado pelo ativo das empresas de cada concelho.²⁹ O desvio de temperatura identificado para o colateral c localizado na classe de NUTS 3 N , no ano t , cenário s é representado pela variável TempDev_{cNt}^s .³⁰

Quando a informação sobre a localização do colateral não estava disponível, considerou-se que a localização do colateral corresponde à da sede da empresa, o que ocorreu para 26% das unidades

²⁸ Como apoio adicional à interpretação dos índices, note-se que cada contrato de empréstimo pode ter várias unidades de um mesmo tipo de colateral g (e.g., um empréstimo pode ter como colateral vários imóveis do tipo “Imóvel comercial escritórios”).

²⁹ Sobre este processo apresentam-se dois exemplos: (i) Desvio de temperatura para a NUTS3 “Alentejo Central”: todos os concelhos desta NUTS3 pertencem ao distrito de Évora, logo o desvio implicado corresponde integralmente ao valor do desvio do distrito de Évora. (ii) Desvio de temperatura para a NUTS3 “Alentejo Litoral”: todos os concelhos pertencem ao distrito de Setúbal com exceção de Odemira que pertence ao distrito de Beja. O total de ativo das empresas do concelho de Odemira corresponde a 12% do total de ativo das empresas com sede na NUTS3 “Alentejo Litoral”, sendo os restantes 88% correspondentes a empresas do distrito de Setúbal. O valor do desvio para esta NUTS3 é obtido a partir da expressão:

$$\text{TempDev}_{\text{Alentejo Litoral}}^{\text{NUTS3}} = 12\% \times \text{TempDev}_{\text{Beja}}^{\text{Distrito}} + 88\% \times \text{TempDev}_{\text{Setúbal}}^{\text{Distrito}}$$

em que o peso atribuído ao distrito de Beja se obtém a partir da expressão:

$$12\% = \frac{\sum_{\text{Concelhos do distrito de Beja da NUTS3 Alentejo Litoral}} \text{Total de ativo}}{\sum_{\text{NUTS3 Alentejo Litoral}} \text{Total de ativo}}$$

³⁰ Note-se que a expressão $\frac{\text{Dmg}_t^s}{\text{PhC}_t^s} \times \text{TempDev}_{cNt}^s$ é equivalente à expressão introduzida na equação PD.12 CFR_{it}^s com referência à localização do colateral c e não à localização da sede da empresa i , ou seja, CFR_{it}^s .

de colateral físico.³¹ Os desvios de temperatura considerados para cada distrito são os mesmos que os integrados na estimativa das PD (secção 3).

Os riscos climáticos agudos são incorporados com recurso aos *scores* calculados pela Moody's COD, em consistência com abordagem considerada na estimação das PD (Secção 3), traduzida pelo termo AFR_{it}^s na equação LGD.5. Uma vez que a informação da Moody's COD está disponível com referência à sede de cada uma das 50 mil empresas, a medida é aplicada ao valor dos vários colaterais dos empréstimos da empresa i , independentemente da localização efetiva dos colaterais.

4.3 Estimativa da LGD por contrato

Os elementos anteriormente descritos definem uma LGD que estabelece uma relação entre o montante de empréstimo e o montante de colateral, mas que será insuficiente para estimar o montante recuperado pelas instituições financeiras. O rácio V/M permite obter uma estimativa da LGD no horizonte de projeção, colocando a hipótese de que o banco conseguirá recuperar o valor do colateral na sua totalidade. Contudo, o montante recuperado pelas instituições não estará relacionado apenas com o valor do colateral em cada momento do tempo. Dependerá também, da capacidade de a instituição tomar posse do/executar o colateral e de outras características da relação contratual.

Para acautelar estas características adicionais nas estimativas das LGD, limitando uma abordagem excessivamente otimista, estimou-se o valor da LGD de cada contrato a partir da relação entre (i) a LGD dos bancos nas carteiras que utilizam o método IRB *Advanced* para o cálculo de requisitos de fundos próprios (reportadas na CRC) e (ii) o valor do rácio V/M observado. A estimativa final da LGD resulta da relação estimada entre o rácio V/M de cada contrato e as LGD reportadas pelas instituições para esses contratos.

Considerou-se um modelo de regressão fracionária que estabelece uma relação entre a LGD reportada pelas instituições, o rácio V/M e outras características do contrato. Este modelo incorpora de forma explícita o domínio da variável LGD: $0 \leq LGD \leq 1$. Outras metodologias de estimação poderiam também ter sido consideradas, entre as quais o método dos mínimos quadrados (OLS) ou a transformação da variável dependente a partir da formulação Logit. Contudo, estas duas abordagens não garantiriam, por si, que as estimativas das LGD estariam compreendidas no intervalo unitário.

Estimação da LGD a partir de uma regressão fracionária

A metodologia empregue está formalizada em Papke & Wooldridge (1996). Para uma determinada variável fracionária y , i.e., uma variável com domínio no intervalo $[0;1]$, considerando que $f(y|x, \theta)$ é função densidade condicional de y e θ corresponde a um vetor de parâmetros a serem estimados, define-se o valor esperado condicional de y , tal que:

$$E(y|x) = G(x\theta) \quad \text{LGD.6}$$

onde $G(\cdot)$ é uma função não linear que satisfaz o domínio $[0;1]$. Pake & Wooldridge (1996) sugerem que $G(\cdot)$ seja definida como uma qualquer função distribuição, materializada no artigo

³¹ Esta condição adicionou informação a cerca de 55 mil unidades de colateral físico, de um total de 217 mil unidades identificadas na CRC em dezembro de 2019. As 55 mil unidades de colateral estão associadas a cerca de 45 403 contratos de empréstimos, por seu turno associados a 29 258 empresas. Não se devendo excluir que a sede da empresa pode ser distinta da localização do colateral, este efeito será mais relevante em empresas com mais de um estabelecimento. Entre as 29 258 empresas, cerca de 22 mil tem informação sobre o número de estabelecimentos, das quais apenas 15% têm mais do que um estabelecimento.

com a função distribuição Logit e a função distribuição Normal. Intuitivamente, e tomando a forma funcional Logit como referência, esta abordagem considera a transformação Logit do valor médio da variável y .³²

A estimação da equação LGD.6 pode ser feita por metodologia de *quasi máxima verosimilhança*, considerando Pake & Wooldridge (1996) a função log-verosimilhança de Bernoulli.³³ A estimativa é consistente e assintoticamente normal, caso $E(y|x)$ esteja corretamente especificado na equação LGD.6.

A variável dependente é a LGD reportada pelas instituições financeiras em carteiras de empréstimos a sociedades não financeiras avaliadas segundo a metodologia *IRB Advanced, LGD_reportada_i*. Apenas duas instituições financeiras adotaram este método e a respetiva informação consta na CRC ao nível do contrato. Cada empresa poderá ter múltiplas observações da LGD, tantas quanto o número de contratos de empréstimos. Assim, para cada um dos mutuários a LGD pode variar entre os contratos face a uma instituição de crédito e/ou entre contratos com as duas instituições de crédito.

As variáveis explicativas incluem o rácio V/M , $\frac{V}{M_I}$, instrumental na obtenção da projeção da LGD nos diversos cenários climáticos, características dos colaterais do empréstimo e características do mutuário do contrato. As restantes variáveis deverão não só apresentar um contributo significativo para a LGD, mas também não apresentar alterações significativas no horizonte de maturidade do contrato. O Quadro 7 no Anexo *Estatísticas descritivas das variáveis consideradas na regressão da LGD* detalha as estatísticas descritivas para as variáveis consideradas na regressão.

O rácio V/M exclui informação de colaterais identificados como Fianças e Avais, mas o peso deste tipo de colateral no total de proteções é significativo, o que terá impacto no montante de crédito recuperado pelas instituições. Para medir este contributo considerou-se o rácio entre o montante de colateral definido como Fianças e Avais no montante total de colateral de cada contrato, *Prop_avais_i*, assim como um termo quadrático deste rácio, *Prop_avais_i²*, que procura identificar efeitos não lineares associados a contratos com um peso mais significativo deste tipo de colateral.

A identificação de uma empresa como tendo empréstimos vencidos poderá contribuir para alterações da capacidade de recuperação dos bancos. Este efeito é captado pela variável binária *D_vencido_i*, que identifica os mutuários que tinham empréstimos vencidos em dezembro de 2019. Também se considerou o efeito de uma variável binária que identifica os contratos com montantes vencidos em dezembro de 2019.

Uma vez que se observam diferenças de nível nas LGD reportadas pelas instituições, consideram-se efeitos fixos ao nível das instituições de crédito, representados na equação pela variável, *D_inst_cred_{fin}*. Também se consideram efeitos fixos em representação de diferentes dimensões de empresa, *D_Dimen_i* e setores de atividade, *D_set_ati_i*.

³² Esta formulação não é equivalente à transformação Logit mais comum, em que se considera a média da transformação Logit dos valores de y , reproduzida pela expressão: $E\left(\log \frac{y}{1-y} \mid x\right) = x\theta$, onde $y = \frac{e^{x\theta}}{1+e^{x\theta}}$.

³³ Outras metodologias poderiam ser consideradas como discutido em Ramalho et al. (2011). Contudo, os autores demonstram a partir de uma análise de Monte Carlo que o método de quasi máxima verosimilhança tem melhor desempenho que outras metodologias, em particular, quando comparada com a estimação não-linear de mínimos quadrados.

A LGD.7 resume a relação a estimar³⁴:

$$\begin{aligned}
 LGD_reportada_i = & \alpha + \beta \left(R\acute{a}cio \frac{V}{M}_i \right) + \gamma_1 Prop_avais_i + \gamma_2 Prop_avais^2_i \\
 & + \gamma_3 D_vencido_i + \gamma_4 D_inst_cred_{fin} + \sum_1^3 \gamma_d D_Dimen_i \\
 & + \sum_1^{10} \gamma_r D_set_ati_i + \varepsilon_i
 \end{aligned}
 \tag{LGD.7}$$

O contributo de cada variável foi avaliado sequencialmente a partir da estimação de um modelo de regressão fracionária com forma funcional Logit. Os resultados são apresentados no quadro 6. Entre as várias especificações, optou-se pela equação que inclui a variável binária que identifica a existência de empréstimos vencidos no sistema (Equação 6 do Quadro 6). Esta opção é detalhada no Anexo *Sobre a equação considerada*.

Todas as variáveis são estatisticamente significativas e os efeitos em linha com a intuição económica: quanto maior o rácio V/M menor a LGD dos contratos, quanto maior o rácio Avais/Total de colateral maior a LGD dos contratos, sendo este efeito mais significativo para rácios mais elevados. Empresas com empréstimos vencidos traduzem-se em LGD superiores. O Anexo *Sobre os efeitos marginais das variáveis explicativas* discute em maior detalhe os efeitos marginais. Finalmente, o Anexo *Sobre a adequação da forma funcional Logit na estimação*, discute a adequação da forma funcional considerada, Logit.

Os resultados do modelo permitem estimar a LGD de cada contrato de empréstimo no horizonte 2020-50 para cada um dos cenários climáticos. Assumindo que as restantes características permanecem constantes no horizonte de projeção, o valor do rácio V/M definido por cada cenário climático gera uma estimativa da LGD ao nível do contrato nesse cenário, tal como descrito na equação LGD.8.

$$\begin{aligned}
 LGD_reportada_{it}^s = & \hat{\alpha} + \hat{\beta} \left(R\acute{a}cio \frac{V^s}{M}_{it} \right) + \hat{\gamma}_1 \overline{Prop_avais}_i + \hat{\gamma}_2 \overline{Prop_avais^2}_i \\
 & + \hat{\gamma}_3 \overline{D_vencido}_i + \hat{\gamma}_4 \overline{D_inst_cred}_{fin} + \sum_1^3 \hat{\gamma}_d \overline{D_Dimen}_i \\
 & + \sum_1^{10} \hat{\gamma}_r \overline{D_set_ati}_i
 \end{aligned}
 \tag{LGD.8}$$

4.4 Estimativa da LGD por empresa

O procedimento anterior permite estimar a LGD ao nível do contrato de empréstimo. Uma vez obtida a estimativa da LGD para cada contrato, estimou-se a LGD ao nível da empresa, que corresponde à média ponderada das LGD dos vários contratos de cada empresa, ponderados pelo montante de empréstimo associado a cada contrato. Caso a empresa pertença a um grupo

³⁴ Consideraram-se quatro categorias de dimensão de empresa: (i) micro, (ii) pequenas, (iii) médias e (iv) grandes empresas, em acordo com a Recomendação da Comissão Europeia 2003/361/CE. Consideraram-se onze setores de atividade: (i) Agricultura, Silvicultura e Pescas, (ii) Indústria extrativa, Eletricidade, Gás e Água, (iii) Indústria transformadora, (iv) Construção e atividades imobiliárias, (v) Outra construção, (vi) Comércio, (vii) Transportes e armazenagem, (viii) Alojamento e restauração, (ix) Atividades de informação e comunicação, (x) Atividades de Consultoria, técnicas e administrativas e (xi) Outros serviços. Para evitar multicolinearidade, excluíram-se uma categoria de dimensão de empresa e uma categoria de setor de atividade, microempresas e Agricultura, Silvicultura e Pescas, respetivamente.

económico, a LGD estimada corresponde à média das LGD dos contratos de empréstimo identificados na CRC para esta empresa com a LGD estimada para todos os contratos do grupo económico, ponderados pelo montante de exposição.³⁵

Para algumas empresas, o procedimento anterior não gerou uma estimativa de LGD. Esta situação está maioritariamente associada ao desfasamento entre o período de informação dos colaterais e o período de identificação das maiores exposições de crédito, que pode levar à identificação de empresas com exposição em dezembro de 2021, mas que ainda não existiam em 2019. Para estas empresas, atribui-se a LGD média das estimativas por CPRS e dimensão da empresa. Das 50 mil empresas consideradas no exercício de simulação, assumiu-se este pressuposto para cerca de quatro mil empresas.

³⁵ Ilustra-se a definição apresentada com um exemplo. Considere-se uma empresa que pertence a um grupo económico e que, após a reafecção de crédito entre empresas do grupo económico detalhada na secção 2, tem um montante total de empréstimos em que 40% dessa exposição corresponde a empréstimos da própria empresa e 60% corresponde a empréstimos de outras empresas do grupo económico. A LGD média ponderada desta empresa no cenário s , ano t , LGD_{it}^s , corresponde a:

$$LGD_{it}^s = 40\% \times LGD_{exposição\ empresa\ i,t}^s + 60\% \times LGD_{exposição\ grupo\ económico,t}^s$$

onde $LGD_{exposição\ empresas\ i,t}^s$ é a LGD média dos contratos de empréstimo dessa empresa, ponderada pelos montantes de empréstimo da empresa, e $LGD_{exposição\ grupo\ económico,t}^s$ é a LGD média de todos os contratos de empréstimo das empresas do grupo económico, ponderada pelos montantes de empréstimo de todo o grupo económico.

Quadro 6 • Estimação da LGD recorrendo a diferentes especificações, segundo um modelo de regressão fracionária com forma funcional LOGIT

Variáveis	Equação 1 LGD	Equação 2 LGD	Equação 3 LGD	Equação 4 LGD	Equação 5 LGD	Equação 6 LGD
Rácio (V/M)	-0,0450*** (0,00432)	-0,0113*** (0,00223)	-0,0152*** (0,00211)	-0,0152*** (0,00211)	-0,0157*** (0,00207)	-0,0157*** (0,00207)
Rácio (Avais/total colateral)		0,493*** (0,0137)	-1,258*** (0,0447)	-1,258*** (0,0447)	-1,136*** (0,0448)	-1,161*** (0,0442)
Rácio (Avais/total colateral)^2			1,429*** (0,0341)	1,429*** (0,0341)	1,345*** (0,0340)	1,362*** (0,0338)
<i>Dummy</i> Contrato com montante vencido					0,568*** (0,0157)	
<i>Dummy</i> Empresa com empréstimos vencidos						0,364*** (0,0101)
Constante	-0,495*** (0,0121)	-0,984*** (0,0179)	-0,651*** (0,0193)	-0,651*** (0,0193)	-0,705*** (0,0192)	-0,707*** (0,0191)
Observações	87.031	87.031	87.031	87.031	87.031	87.031
Efeitos fixos Inst. crédito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeitos fixos Setor	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeitos fixos Dimensão	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pseudo-R ²	0,0468	0,0648	0,0857	0,0857	0,121	0,112

Fonte: Banco de Portugal. | Notas: Desvio-padrão robusto dentro de parêntesis *** p<0,01, ** p<0,05 e *p<0,1.

Referências

Antunes, A., Gonçalves, H. e Prego, P. (2016). "Revisitando probabilidades de incumprimento de empresas", *Revista de Estudos Económicos*, Vol. 2(2), 19–45, Banco de Portugal.

Alogoskoufis, S., Dunz, N., Emambakhsh, T., Hennig, T., Kaijser, M., Kouratzoglou, C., Muñoz, M.A., Parisi, L. e Salleo, C. (2021). "ECB economy-wide climate stress test — Methodology and results", *Occasional Paper Series*, No 281, ECB, September.

Gillingham, K. e Stock, J. H. (2018). "The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions", *Journal of Economic Perspectives*, Volume 32, Number 4, Fall 2018, 53–72.

Papke, L. E. e Wooldridge, J. M. (1996). "Econometric methods for fractional response variables with an application to 401 (k) plan participation rates", *Journal of applied econometrics*, 11(6), 619–632.

Ramalho, E. A., Ramalho, J. J. e Murteira, J. M. (2011). "Alternative estimating and testing empirical strategies for fractional regression models", *Journal of Economic Surveys*, 25(1), 19–68.

Ramalho, E. A., Ramalho, J. J. e Murteira, J. M. (2014). "A generalized goodness-of-functional form test for binary and fractional regression models", *The Manchester School*, 82(4), 488–507.

Anexos

Estatísticas descritivas das variáveis consideradas
na regressão da LGD

Quadro 1 • Estatísticas descritivas das variáveis consideradas no modelo de estimação da LGD

Decomposição	Obs.	LGD observada					Rácio V/M					Proporção avais					Dummy empresa com empréstimos vencidos
		Média	Desv. Pad.	P5	Mediana	P95	Média	Desv. Pad.	P5	Mediana	P95	Média	Desv. Pad.	P5	Mediana	P95	Proporção
Total	87.031	0,34	0,14	0,00	0,40	0,47	0,41	2,37	0,00	0,00	1,59	0,88	0,25	0,27	1,00	1,00	0,07
Micro empresas	47.340	0,35	0,14	0,00	0,40	0,47	0,45	2,56	0,00	0,00	1,74	0,90	0,23	0,39	1,00	1,00	0,08
Pequenas empresas	28.151	0,33	0,13	0,00	0,39	0,45	0,35	2,23	0,00	0,00	1,37	0,90	0,22	0,44	1,00	1,00	0,07
Médias empresas	8.398	0,33	0,13	0,00	0,36	0,44	0,38	2,01	0,00	0,00	1,72	0,88	0,27	0,00	1,00	1,00	0,07
Grandes empresas	3.142	0,38	0,09	0,22	0,42	0,44	0,58	1,09	0,00	0,66	1,01	0,54	0,48	0,00	0,73	1,00	0,03
Agricultura, silv. e pescas	2.625	0,35	0,14	0,00	0,40	0,56	0,40	2,26	0,00	0,00	1,74	0,90	0,23	0,39	1,00	1,00	0,08
Ind. Extrativa, eletr. gás e água	762	0,33	0,14	0,00	0,39	0,45	0,29	1,02	0,00	0,00	1,28	0,89	0,22	0,46	1,00	1,00	0,11
Ind. Transformadora	17.504	0,34	0,13	0,00	0,39	0,45	0,33	1,61	0,00	0,00	1,33	0,90	0,22	0,40	1,00	1,00	0,08
Construção & At. Imobiliárias	7.488	0,31	0,15	0,00	0,35	0,45	1,22	4,60	0,00	0,00	4,97	0,78	0,33	0,00	1,00	1,00	0,08
Outra construção	4.332	0,35	0,14	0,00	0,40	0,45	0,25	1,57	0,00	0,00	0,99	0,92	0,19	0,53	1,00	1,00	0,10
Comércio	26.202	0,35	0,13	0,01	0,40	0,47	0,31	2,15	0,00	0,00	1,15	0,91	0,20	0,50	1,00	1,00	0,07
Transportes e armazenagem	5.677	0,35	0,14	0,00	0,40	0,47	0,14	1,33	0,00	0,00	0,70	0,95	0,15	0,61	1,00	1,00	0,09
Alojamento e restauração	5.254	0,33	0,15	0,00	0,40	0,47	0,72	3,44	0,00	0,00	2,80	0,86	0,27	0,23	1,00	1,00	0,06
At. de informação	1.568	0,35	0,14	0,00	0,40	0,47	0,21	1,12	0,00	0,00	0,80	0,92	0,19	0,58	1,00	1,00	0,08
At. Consul. Técn.e admn.	8.443	0,35	0,14	0,00	0,40	0,47	0,35	1,36	0,00	0,00	1,02	0,78	0,38	0,00	1,00	1,00	0,06
Outros serviços	7.176	0,34	0,14	0,00	0,40	0,51	0,39	2,39	0,00	0,00	1,54	0,90	0,22	0,42	1,00	1,00	0,05

Fonte: Banco de Portugal | Notas: Valores com referência a dezembro de 2019. "Desv. Pad." refere-se ao desvio padrão. "A variável "LGD observada" corresponde à LGD reportada pelas instituições financeiras em carteiras de empréstimos a SNF avaliadas segundo o método IRB Advanced, a variável "Rácio V/M" corresponde ao rácio entre o valor do colateral e o montante em dívida, a variável "Proporção avais" corresponde à proporção de colateral de avais e fianças no total de colaterais considerando avais e fianças e a variável "Dummy empresa com empréstimos vencidos" assume o valor de um se a empresa tem empréstimos vencidos em algum dos seus contratos de empréstimo junto do sistema financeiro residente e zero no caso contrário. Por apenas assumir valores entre zero e um a tabelas reporta a proporção de empresas com empréstimos vencidos. O setor da Construção e atividades imobiliárias considera as divisões 41 e 68 da CAE e o setor da Outra construção considera as divisões 42 e 43.

Tópicos adicionais sobre a estimação do modelo de regressão fracionária

Sobre a equação considerada

A formulação da equação da LGD, considerada para gerar estimativas de LGD para os diferentes contratos de empréstimo (Equação 6, Quadro 6), inclui uma variável binária que identifica se a empresa tem empréstimos vencidos no sistema, em oposição a uma variável binária que apenas identifica a existência de montante vencido no contrato (Equação 5, Quadro 6). Esta escolha é suportada por dois motivos: (i) a informação de empréstimos vencidos é partilhada pelas várias instituições financeiras através da CRC e (ii) as estimativas da LGD obtidas a partir desta equação aproximam melhor os valores dos percentis mais elevados da distribuição dos valores observados da LGD — Quadro 8 — mesmo que esta equação apresente um Pseudo-R2 ligeiramente inferior (0,114 quando se considera a informação de empréstimos vencidos no sistema face a 0,121 quando se considera a informação de montante vencido no contrato).

Quadro 2 • Valores da distribuição da LGD: valores observados e valores estimados *in-sample*

	Percentil 5	Média	Mediana	Percentil 95
Observado	0,0000	0,3403	0,3988	0,4704
Equação 1	0,3060	0,3401	0,3426	0,3749
Equação 2	0,2725	0,3401	0,3477	0,3759
Equação 3	0,2534	0,3401	0,3519	0,3771
Equação 4	0,2534	0,3401	0,3519	0,3771
Equação 5	0,2493	0,3401	0,3491	0,3874
Equação 6	0,2492	0,3401	0,3477	0,4170

Fonte: Banco de Portugal. | Notas: Os valores projetados para cada equação têm por referência a formulação apresentada no quadro 6. Valores estimados *in-sample*.

Sobre os efeitos marginais das variáveis explicativas

A equação estimada não tem uma formulação linear o que inviabiliza a interpretação dos coeficientes como efeitos marginais. O quadro 9 detalha os efeitos marginais condicionais calculados com referência ao valor médio das restantes variáveis independentes. O impacto da variação do rácio V/M é reduzido, por comparação com o impacto da variação do rácio de Avais/Total de colateral. O aumento de 1 pp do rácio V/M implica uma diminuição da LGD em cerca de 0,02 pp e um aumento de 1 pp do rácio avais sobre o total de colateral implica um aumento de 0,28 pp da LGD. Contudo, a relação positiva entre o valor LGD e a proporção dos avais identificado para cada contrato não é linear, sendo superior para contratos em que a proporção dos avais é mais elevada.

Quadro 3 • Efeitos marginais condicionais para a equação 6

Variáveis	Efeitos marginais condicionais
Rácio (V/M)	-0.0035*** (0.00046)
Rácio (Avais/total colateral)	0.2841*** (0.0049)
Dummy Empresa com empréstimos vencidos	0.0810*** (0.00243)

Fonte: Banco de Portugal. | Notas: Desvio-padrão robusto entre parêntesis. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$ e * $p < 0,1$. A estimativa do efeito marginal condicional é obtida como a média dos efeitos individuais do parâmetro para cada observação, assumindo o valor médio das restantes variáveis explicativas.

Sobre a adequação da forma funcional Logit na estimação

A adequação da regressão fracionária na estimativa da LGD depende da adequação da escolha da forma funcional na equação LGD.3, neste exercício assumida como Logit. Pake & Wooldridge (1996), Ramalho et al. (2011) e Ramalho et al. (2014) introduzem metodologias de avaliação da forma funcional considerada num modelo de regressão fracionária. Para avaliar a validade do pressuposto da forma funcional Logit, consideraram-se quatro dos testes identificados por Ramalho et al. (2014). O quadro 10 detalha estes resultados.

Segundo os testes RESET2, GOFF1 e GOFF2, não existe evidência de má-especificação do modelo Logit. Contudo, a inclusão de um termo cúbico e o teste GGOF apontam para possível má especificação do modelo, o que sugere para possíveis problemas na especificação atual. Deve-se notar que, entre as diferentes formas funcionais, todos os coeficientes são estatisticamente significativos e apresentam o mesmo sinal. Por este motivo, optou-se por manter a forma funcional LOGIT e a equação com a formulação já apresentada.

Quadro 4 • Resultados da estimação da LGD para diferentes escolhas de forma funcional

Variáveis	LOGIT	PROBIT	CAUCHIT	LOGLOG	cLOGLOG
	LGD	LGD	LGD	LGD	LGD
Rácio (V/M)	-0,0157*** (0,00207)	-0,00858*** (0,00107)	-0,0352*** (0,00630)	-0,00699*** (0,000830)	-0,0147*** (0,00197)
Rácio (Avais/total colateral)	-1,161*** (0,0442)	-0,688*** (0,0266)	-1,303*** (0,0441)	-0,630*** (0,0258)	-1,009*** (0,0368)
Rácio (Avais/total colateral)^2	1,362*** (0,0338)	0,816*** (0,0203)	1,416*** (0,0362)	0,768*** (0,0195)	1,162*** (0,0285)
<i>Dummy</i> Empresa com empréstimos vencidos	0,364*** (0,0101)	0,224*** (0,00627)	0,317*** (0,00830)	0,231*** (0,00674)	0,290*** (0,00773)
Constante	-0,707*** (0,0191)	-0,445*** (0,0115)	-0,518*** (0,0220)	-0,118*** (0,0113)	-0,904*** (0,0158)
Observações	87.031	87.031	87.031	87.031	87.031
Efeitos fixos inst. crédito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeitos fixos Setor	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeitos fixos Dimensão	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pseudo-R ²	0,112	0,112	0,113	0,111	0,112
RESET2	0,6657	0,8048	0,000***	0,6697	0,6770
RESET3	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
GOFF1	0,6979	0,7326	0,0361**	-	0,5914
GOFF2	0,2963	0,5759	0,0926*	0,5055	-
GGOFF	0,000***	0,000***	0,000***	0,5055	0,5914
P-test					
H1: logit	-	0,0101**	0,000***	0,0382**	0,000***
H1: probit	0,3490	-	0,000***	0,5669	0,0004***
H1: cauchit	0,000***	0,000***	-	0,000***	0,000***
H1: LogLog	0,0042**	0,0044***	0,000***	-	0,000***
H1: cLogLog	0,0733*	0,6551	0,0047***	0,0192**	-

Fonte: Banco de Portugal. | Notas: Desvio-padrão robusto dentro de parêntesis *** p<0,01, ** p<0,05 e *p<0,1. Os resultados do teste à forma funcional GOFF1 e GOFF2 correspondem, por definição, ao teste GGOFF no caso da forma funcional LogLog e na forma funcional cLogLog, respetivamente, tal como detalhado em Ramalho, et al., (2014).