

Organização de um Conjunto de Descobertas Experimentais sobre Causas e Efeitos da Dívida Técnica através de uma Família de *Surveys* Globalmente Distribuída

Nicolli Rios¹, Rodrigo Spínola² e Manoel Mendonça¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Salvador – BA – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação – Universidade Salvador (UNIFACS) – Salvador – BA – Brasil

nicollirios@gmail.com, rodrigo.spinola@unifacs.br,
manoel.mendonca@ufba.br

Resumo. *Conhecer as causas da dívida técnica (DT) pode auxiliar equipes de desenvolvimento a definir ações que podem ser tomadas para evitar a ocorrência de itens de dívida. Identificar os efeitos da DT auxilia análises de impacto e a definir ações corretivas para minimizar possíveis consequências negativas para o projeto. Nesse contexto, foi criado o projeto InsignTD, uma família de surveys globalmente distribuída. Seu objetivo é investigar o estado da prática sobre DT, incluindo causas que levam à sua ocorrência, efeitos de sua existência e como esses problemas se manifestam no processo de desenvolvimento de software. Respostas de 206 profissionais da indústria de software do Brasil e Estados Unidos foram analisadas. Identificou-se as principais causas da DT, os efeitos de sua presença, e a relação entre modelos de processo e os efeitos da DT. Diagramas probabilísticos de causa e efeito e um mapa conceitual focado em dívida de documentação foram propostos para apoiar a gestão da DT. InsignTD, o primeiro estudo em larga escala da área de DT, também permitiu organizar uma rede de cooperação envolvendo pesquisadores e instituições de 12 países.*

Abstract. *Knowing the causes of technical debt (TD) can help development teams define actions that can be taken to prevent debt items. Identifying the effects of TD helps in carrying out impact analyzes and defining corrective actions to minimize possible negative consequences for the project. In this context, we created the InsignTD project, a family of globally distributed surveys. It intends to investigate the state of practice regarding TD, including causes that lead to its occurrence, effects of its existence, and how these problems manifest themselves in the software development process. Answers from 206 software industry professionals from Brazil and the United States were analyzed. The main causes of TD, the effects of its presence, and the relationship between process models and the effects of DT were identified. Probabilistic cause-and-effect diagrams and a conceptual map focused on documentation debt were proposed to support TD management. InsignTD, the first large-scale study in the field of TD, also made it possible to organize a cooperation network involving researchers and institutions from 12 countries.*

1. Introdução

Dívida técnica contextualiza o problema das tarefas de desenvolvimento pendentes como um tipo de dívida que traz um benefício a curto prazo para o projeto de software, mas que poderão ter de ser pagas com juros mais tarde no processo de desenvolvimento. Nesse sentido, é comum que um projeto incorra em dívida durante sua construção (Kruchten *et al.*, 2012; Ernst *et al.*, 2015). No entanto, sua presença traz riscos para o projeto e dificulta sua gestão uma vez que gerentes terão que decidir se a dívida será paga e, em caso positivo, quanto da dívida deve ser paga e quando (Guo *et al.*, 2014).

De acordo com Kruchten *et al.* (2012), a DT pode ser um bom investimento, desde que a equipe do projeto saiba de sua presença e do aumento de riscos que impõe ao projeto. Se gerenciada adequadamente, ela pode ajudar o projeto a atingir seus objetivos mais cedo ou com menor custo. Atividades de gestão da DT incluem identificação, monitoramento e pagamento dos itens de dívida (Griffith *et al.*, 2014). Seu principal objetivo é possibilitar a tomada de decisão sobre a necessidade de eliminar um item de dívida e o momento mais adequado para isso (Guo *et al.*, 2014). Assim, a gestão da DT foca na redução do seu impacto negativo, sendo um fator decisivo para o sucesso de projetos de software (Seaman e Guo, 2011). Por outro lado, se itens de dívida não são gerenciados, podem causar problemas financeiros e técnicos, aumentando custos de manutenção e evolução do software, levando a um ponto de crise em que o projeto pode ficar comprometido (Nord *et al.*, 2012; Martini *et al.*, 2014).

Estudos secundários identificaram estratégias de gestão da DT (TDM) (Rios *et al.*, 2018). No entanto, investigar as causas da DT, ajudando assim a identificar ações que poderiam preveni-la ainda não é comum na literatura. Esse é um ponto que merece investigação porque se espera que a prevenção da DT possa às vezes ser “mais barata” do que seu pagamento. Além disso, estabelecer práticas de prevenção ajuda a detectar soluções “não tão boas” de desenvolvedores inexperientes (Yli-Huumo *et al.*, 2016). A literatura também carece de análises específicas sobre os efeitos da DT (Alves *et al.*, 2016; Yli-Huumo *et al.*, 2016; Rios *et al.*, 2018). Conhecê-los pode auxiliar na priorização dos itens de DT a serem pagos, ao apoiar uma análise de impacto mais precisa e a identificação de ações corretivas para minimizar possíveis consequências negativas para o projeto. Assim, embora TDM seja um tópico importante (Guo *et al.*, 2014), também é necessário entender as motivações que podem levar uma equipe de desenvolvimento a incorrer em diferentes tipos de DT e as implicações da presença de itens da DT em projetos de software.

Recentemente, alguns estudos abordaram causas e efeitos da DT (Martini *et al.*, 2014; Yli-Huumo *et al.*, 2014; Ernst *et al.*, 2015; Yli-Huumo *et al.*, 2015; Martini e Bosch, 2017; Rios *et al.*, 2018b; Besker *et al.*, 2018a), no entanto, a evidência existente ainda é limitada. Três deles (Martini *et al.*, 2014; Martini e Bosch, 2017; Besker *et al.*, 2018a) são focados apenas na DT de arquitetura, em detrimento dos demais tipos de dívida. Ernst *et al.* (2015) avaliaram uma lista predefinida de 13 causas da DT, o que é limitante porque essa lista não representa necessariamente todas as fontes de DT para os participantes. Muitos desses estudos eram limitados em escopo, com um máximo de 17 participantes de um máximo de cinco organizações diferentes (Martini *et al.*, 2014; Yli-Huumo *et al.*, 2014; Yli-Huumo *et al.*, 2015; Martini e Bosch, 2017; Rios *et al.*, 2018b; Besker *et al.*, 2018a). A discussão em torno das causas e efeitos da DT merece uma investigação mais abrangente para que se possa compreender os motivos que levam

equipes de software a incorrer DT e os efeitos sentidos pelos desenvolvedores em decorrência da presença da dívida em seus projetos.

Dessa forma, a tese (Rios, 2020) buscou investigar, através da replicação contínua e independente de *surveys* distribuídos globalmente, o estado da prática e tendências da indústria sobre DT incluindo causas que levam à sua ocorrência, efeitos de sua existência e como esses problemas se manifestam no processo de desenvolvimento de software. Foram consideradas as seguintes questões de pesquisa principais: **(RQ1)** Os profissionais de software estão familiarizados com o conceito de DT?, **(RQ2)** Quais causas levam equipes de desenvolvimento a incorrerem em DT?, **(RQ3)** Quais são os efeitos que a DT traz para projetos de software? e, **(RQ4)** É possível fazer uso das informações obtidas sobre causas e efeitos da DT para apoiar atividades de sua gestão?

Para responder as questões de pesquisa, foram definidos cinco objetivos específicos: **(OE1)** Investigar o estado atual da pesquisa sobre DT; **(OE2)** Organizar um conjunto aberto e generalizável de dados empíricos sobre causas e efeitos da DT em projetos de software; **(OE3)** Realizar a análise e síntese dos resultados obtidos; **(OE4)** Estruturar o corpo de conhecimento organizado em (OE2 e OE3) considerando suas causas e efeitos através de diagramas probabilísticos, e; **(OE5)** Avaliar o corpo de conhecimento organizado em (OE4).

Além desta introdução, este artigo está estruturado em mais cinco seções. Na Seção 2 é apresentada a metodologia definida para atingir os objetivos da tese (Rios, 2020). A Seção 3 apresenta como foi planejada uma família de *surveys* globalmente distribuída. Já na Seção 4 é apresentada uma visão geral dos resultados da execução do InsignTD no Brasil e nos Estados Unidos. Em seguida, a Seção 5 apresenta os diagramas probabilísticos de causa e efeitos da DT elaborados e o resultado de sua avaliação. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2. Metodologia

As atividades realizadas neste trabalho são fundamentadas no paradigma da engenharia de software experimental (Basili, 1992), que busca aprimorar a engenharia de software aplicando a abordagem científica na construção e evolução de métodos, teorias e técnicas, sejam eles novos ou já existentes, para apoiar o desenvolvimento de software. A Figura 1 ilustra os passos que compõem a metodologia de trabalho. Os pentágonos azuis representam as atividades definidas, com seus respectivos objetivos (retângulos brancos) e resultados (retângulos verdes). O pentágono preenchido em azul claro representa uma atividade em execução. Como InsignTD é caracterizado pela replicação contínua do questionário em diferentes países, esta é uma atividade incremental e de longo prazo. No contexto da tese (Rios, 2020), reporta-se a execução do InsignTD no Brasil e sua replicação nos Estados Unidos.

Inicialmente, realizou-se uma revisão inicial da literatura para entendimento dos conceitos necessários para o desenvolvimento da tese. Em seguida, realizou-se um **estudo terciário** (atendendo ao objetivo OE1) para investigar o estado atual da pesquisa sobre DT identificando os tópicos de pesquisa que têm sido considerados, organizando direcionamentos de pesquisa e conhecimentos práticos que já foram definidos, identificando os tipos conhecidos de DT, e mapeando as atividades, estratégias e ferramentas têm sido propostas para apoiar o gerenciamento da DT.

Na sequência, atendendo aos objetivos OE2 e OE3, foi **planejado e executado o Projeto *InsighTD***. *InsighTD* é o primeiro estudo em larga escala realizado na área de DT. Trata-se de uma família de *surveys* globalmente distribuída para investigar causas e efeitos da DT em projetos de software. O projeto, liderado pela autora da Tese (Rios, 2020) e seus orientadores, foi planejado de forma cooperativa com pesquisadores da área de DT. O planejamento e validação dos instrumentos do estudo contou com a participação de seis pesquisadores doutores de instituições como *Carnegie Mellon University*, *University of Maryland*, e *University of Turku*. Detalhes sobre o planejamento de *InsighTD* podem ser encontrados no Capítulo 4 da tese (Rios, 2020).

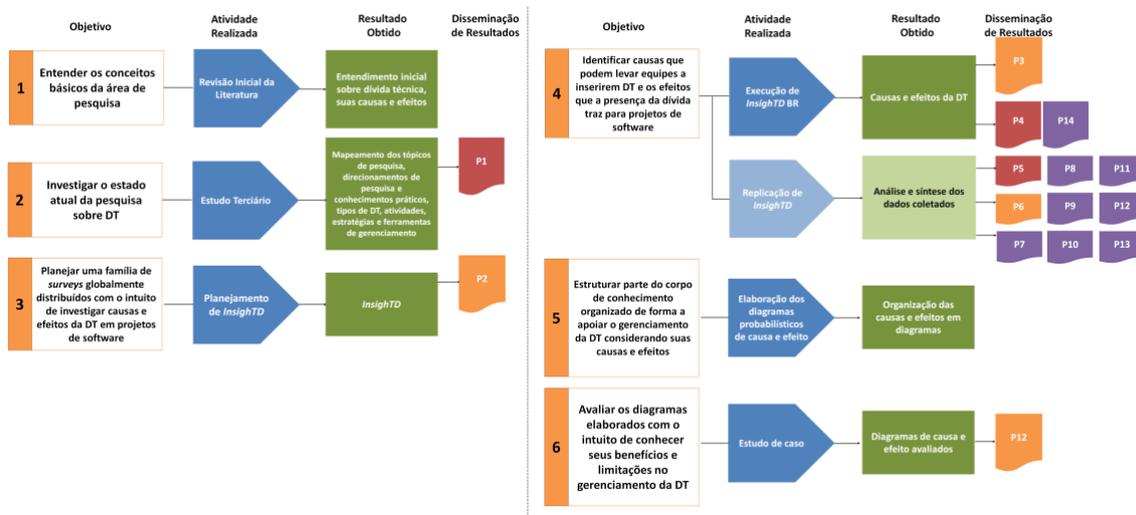


Figura 1. Metodologia e resultados da pesquisa.

No contexto da tese, considerou-se as replicações de *InsighTD* no Brasil e nos Estados Unidos para responder às questões de pesquisa principais. Parte dos resultados foram organizados em diagramas probabilísticos de causa e efeito da DT, atendendo ao objetivo OE4. Em resposta ao objetivo específico OE5, os diagramas foram avaliados através de um **estudo de caso**. Respostas para questões de pesquisa complementares, obtidas a partir da **análise e síntese das replicações** de *InsighTD* também no Chile e Colômbia, estão reportadas no Capítulo 8 da tese (Rios, 2020). O **pacote experimental** é apresentado no Capítulo 9 da tese (Rios, 2020), sendo empacotado junto com as **lições aprendidas** com a realização do estudo em larga escala.

A última coluna da Figura 1 lista os resultados já disseminados. Os ícones em vermelho se referem a publicações em periódicos. Em laranja, artigos publicados em conferências. Por fim, em roxo, tem-se as publicações obtidas que são contextualizadas nesta tese e que foram obtidas em coautoria com pesquisadores parceiros no *InsighTD*. Maiores detalhes a respeito dos resultados disseminados, incluindo contribuições secundárias – aquelas não relacionadas diretamente a *InsighTD*, estão descritos na última seção deste artigo. Uma descrição mais aprofundada sobre as atividades 3 – Planejamento de *InsighTD*, 4 – Execução e Replicação de *InsighTD*, 5 – Elaboração de Diagramas Probabilísticos de Causas e Efeitos da DT e 6 – Estudo de Caso são apresentados, respectivamente, nas Seções 3, 4 e 5 deste artigo.

3. *InsighTD* – Uma família de *surveys* globalmente distribuída para investigar causas e efeitos da dívida técnica em projetos de software

O Projeto *InsighTD* foi planejado para ser executado de forma incremental e em larga escala, baseado em replicações contínuas e independentes do questionário em diferentes países. Atualmente, pesquisadores de 12 países fazem parte do projeto: Arábia Saudita, Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Estados Unidos, Finlândia, Índia, Itália, Noruega e Sérvia. A razão por trás da escolha de diferentes países como escopo de replicação é dupla: (i) organizar melhor o trabalho e fazer com que a disseminação do *survey* seja mais ampla, e (ii) possibilitar a investigação se possíveis diferenças em práticas de desenvolvimento de cada país poderiam influenciar na forma como os participantes lidam com o conceito de DT.

O projeto busca estabelecer um conjunto aberto e generalizável de dados experimentais sobre problemas práticos (causas e efeitos) da DT que permita direcionar novas pesquisas de uma forma orientada a problemas enfrentados na indústria. Ao replicar o *survey*, tem-se, incrementalmente, dados sobre problemas práticos da DT, considerando diferentes culturas de desenvolvimento, tamanhos de organização, metodologias de desenvolvimento e assim por diante. Cada replicação pode trazer novos achados para a área. Além disso, a combinação de dados de diferentes locais pode trazer *insights* sobre possíveis diferenças ou semelhanças em relação às percepções de DT em culturas de desenvolvimento específicas.

Para cada replicação, foi disponibilizada uma infraestrutura do *survey* utilizando o mesmo questionário e um conjunto de instrumentos para orientar a análise dos dados. Também há um plano de comunicação que define como os resultados serão comunicados entre os participantes do projeto. Por fim, também há um site (disponível em www.td-survey.com) onde mais detalhes sobre o projeto e notícias sobre suas replicações são atualizados.

InsighTD foi planejado cooperativamente com vários pesquisadores da área de DT. Seu projeto consiste em quatro etapas: concepção, validação, iniciação e replicação internacional, como mostra a Figura 2.

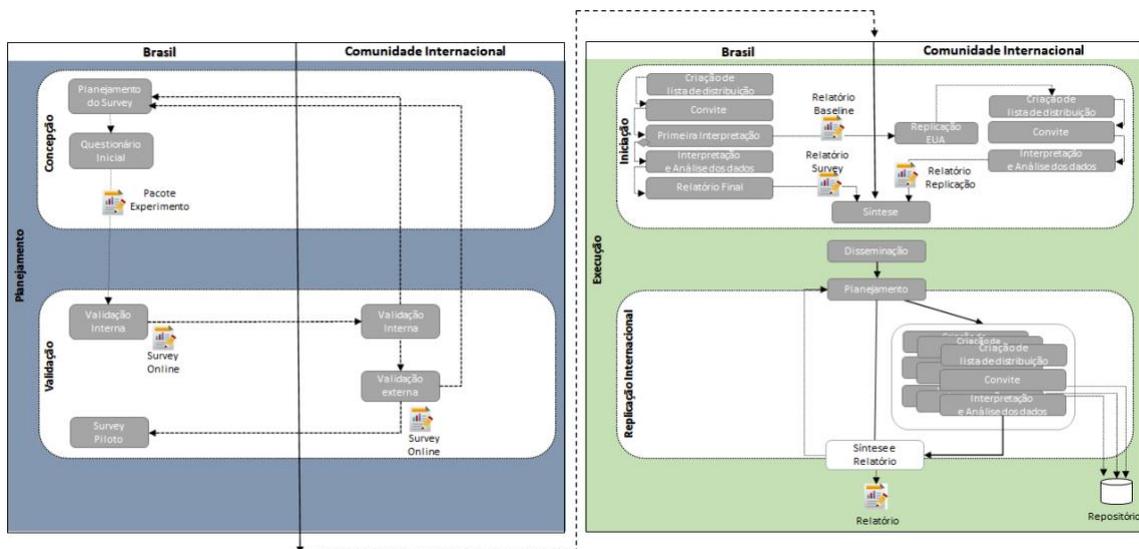


Figura 2. Visão geral da metodologia utilizada em *InsighTD*

As primeiras duas etapas correspondem às atividades realizadas para planejar e validar a estrutura do *survey* (questões de pesquisa e instrumentos). A terceira etapa corresponde à primeira execução do *survey*, realizada no Brasil, e sua primeira replicação (nos Estados Unidos). Com base nos resultados da terceira etapa, é possível ter um relatório de referência e uma melhor definição de como se pode executar a análise e síntese dos resultados. Após a primeira execução, o pacote experimental ficou disponível para parceiros de outros países, de forma que pudessem replicar a pesquisa e reutilizar todo o conjunto de instrumentos na última etapa (replicação internacional).

Cada replicação do *survey* é realizada de forma independente por diferentes pesquisadores em diferentes países. Todos eles utilizam a mesma infraestrutura do *survey* e versão do questionário. A replicação contínua do *survey* resulta em um rico conjunto de dados experimentais que é utilizado para realizar análises de dados de forma isolada ou conjunta. Mais detalhes sobre o planejamento, procedimentos de convite de participantes, procedimentos de análise de dados e o questionário utilizado podem ser encontrados no Capítulo 4 da tese (Rios, 2020).

4 Resultados

4.1 Caracterização dos participantes

Dos 206 profissionais que responderam o questionário, 87% se identificaram como tendo alto nível de experiência (competente, especialista ou proficiente). Os 13% restantes se caracterizaram como profissionais com baixo nível de experiência. A maioria dos participantes é formada por desenvolvedores (49%), seguidos por líderes ou gerentes de projeto (15%), arquitetos de software (13%) e testadores (9%).

A maioria dos participantes trabalha em empresas de médio porte (39%), seguidas por grandes (37%) e pequenas (23%). Na maioria das vezes, eles adotam processos ágeis (49%), seguidos pelos híbridos (39%) e tradicionais (11%). Eles trabalham em equipes compostas por 10 a 20 pessoas (28%), seguidas de equipes com menos de 10 pessoas (26%), menos de 5 e mais de 30 (19% cada) e de 21 a 30 (7%).

O tamanho mais comum de seus projetos era inferior a 100 KLOC (~30%), seguido por sistemas com 100KLOC a 1 milhão de LOC (~26%) e menos de 10KLOC (~19%). A idade do sistema mencionada pelos participantes era tipicamente de 2 a 5 anos (~36%) e de 1 a 2 anos (~23%). Contudo, também estão presentes sistemas com menos de 1 ano (~15%) e com mais de 10 anos (~10%).

No geral, os dados coletados são uma boa representação da heterogeneidade da indústria de software, alcançando (i) diferentes funções de vários participantes, (ii) organizações de diferentes tamanhos e (iii) projetos de diferentes idades, tamanhos, tamanhos de equipe e modelos de processo.

4.2 Familiaridade com o conceito de DT (RQ1)

Ao responderem sobre seu nível de familiaridade com o conceito de DT, mais de 70% dos participantes indicaram que estão de alguma forma familiarizados com o conceito. Desses, cerca de 28% indicou que a identificação ou gerenciamento da DT fazia parte de suas atividades diárias. Depois que a definição de DT de McConnell foi apresentada, foi perguntado o quão próximo essa definição era da compreensão dos participantes. A maioria deles (82%) indicou possuir um entendimento próximo ou muito próximo da

definição fornecida. Apenas cerca de 4% indicou ter compreensão distante ou muito distante da definição apresentada.

4.2 Causas da DT (RQ2)

Ao total, foram identificadas 98 causas. A Figura 3 apresenta as dez causas mais citadas e quantas vezes cada uma delas foi considerada entre as mais prováveis de levar à ocorrência da DT. É possível observar que, para algumas causas, mesmo que elas pareçam não ocorrer tão frequentemente quanto outras, ainda assim, são consideradas mais propensas a levar à ocorrência da dívida. Por exemplo, *foco em produzir mais em detrimento da qualidade* é a oitava causa mais citada nos exemplos e ocupa a terceira posição entre as causas mais prováveis de levar à inserção de DT. Esse resultado sugere que ela pode ser considerada mais importante do que, por exemplo, *gerenciamento/acompanhamento não efetivo do projeto*, que embora tenha sido mencionada com mais frequência, foi menos citada na lista de causas com maior probabilidade de levar à DT.

Os resultados também indicam que razões técnicas não parecem ser as causas mais comumente lembradas da DT. Das dez principais causas citadas e dez mais prováveis, as seguintes causas não estão diretamente relacionadas a questões técnicas: *prazo*, *planejamento inadequado*, *foco em produzir mais em detrimento da qualidade*, *falta de um processo bem definido*, *gerenciamento/acompanhamento não efetivo do projeto*, *falta de comprometimento* e *falta de experiência*. Assim, questões não técnicas parecem ter um papel significativo na ocorrência de itens de DT.

Outro resultado observado foi que conhecimento e a maturidade da equipe são decisivos para a ocorrência de DT, como atestado pela presença das causas: *falta de conhecimento técnico*, *falta de experiência* e *falta de comprometimento*. Além disso, questões de planejamento e gerenciamento (*prazo*, *planejamento inadequado* e *gerenciamento não efetivo do projeto*) também foram comumente citadas.

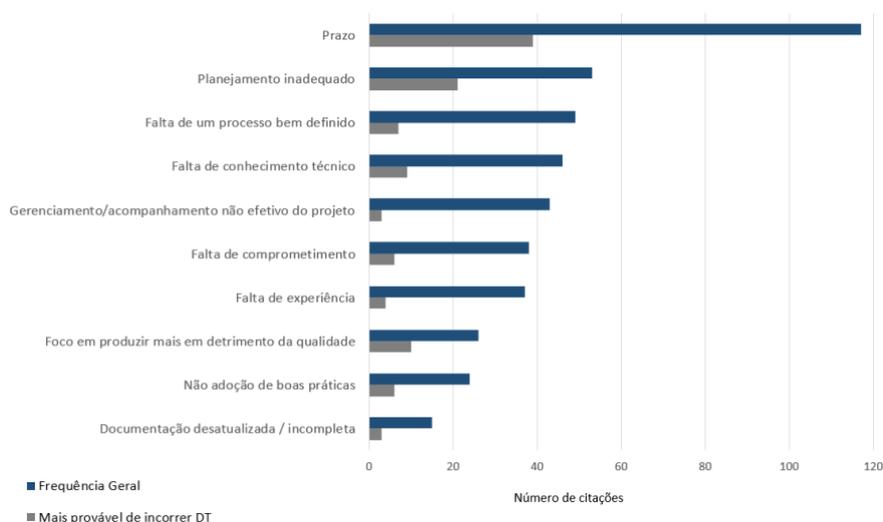


Figura 3. As dez causas mais citadas nas replicações *InsighTD* BR e EUA

4.3 Efeitos da DT (RQ3)

Foi identificado um total de 79 efeitos da DT. A Figura 4 apresenta os 10 efeitos mais comumente citados da DT, juntamente com a frequência em que aparecem na lista dos

efeitos que têm um impacto maior. Destacam-se três efeitos: *baixa qualidade externa*, *baixa manutenibilidade e atraso na entrega*, ocupando as três primeiras posições no ranking dos efeitos e efeitos mais citados que têm maior impacto. Isso indica que, além de serem efeitos que frequentemente impactam o projeto, eles também resultam em grandes transtornos para a equipe do projeto.

Também se pode observar na Figura 4 que *retrabalho* e a *perda financeira* são problemas que comumente afetam projetos de software na presença da dívida e também são considerados como tendo um impacto maior no projeto. Por fim, foi possível identificar que dois dos dez principais efeitos estavam relacionados às relações entre as pessoas: *desmotivação da equipe* e *insatisfação das partes envolvidas*. Este é um sinal de que a presença da dívida pode prejudicar o ambiente de trabalho.

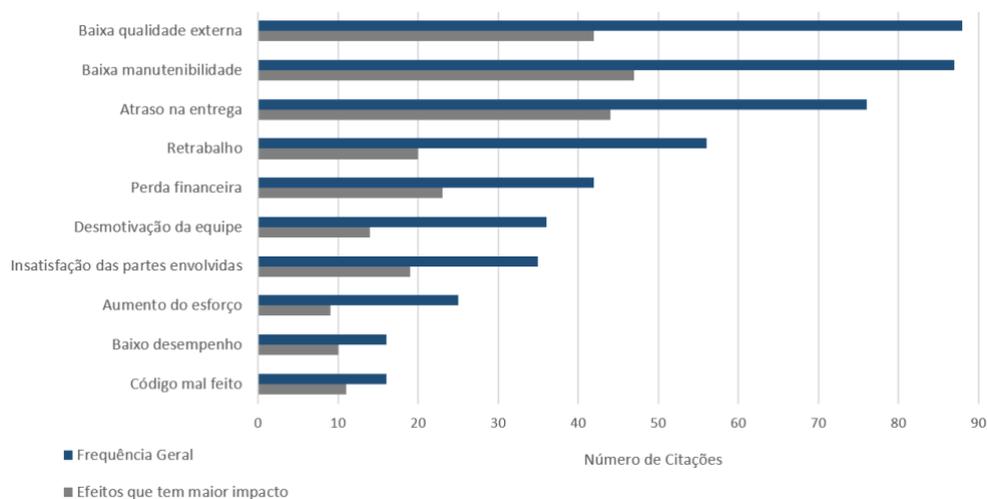


Figura 4. Os dez efeitos mais citados nas replicações *InsighTD* BR e EUA

5. Diagramas probabilísticos de causa e efeito da dívida técnica (RQ4)

Na tese (Rios, 2020), foi proposta a organização das informações sobre causas e efeitos da DT em diagramas probabilísticos, possibilitando que profissionais tenham uma visão ampla e consolidada do estado da prática em relação às causas e efeitos da DT.

Os diagramas probabilísticos de causa e efeito utilizados foram introduzidos em (Kalinowski *et al.*, 2008), com base nos diagramas clássicos de Ishikawa (Ishikawa, 1976), para fornecer suporte visual em sessões de análise causal representando conhecimento sobre as causas e efeitos comuns de problemas coletados de experiências anteriores. Esses diagramas estendem o diagrama de Ishikawa: (i) mostrando as probabilidades que cada causa possui de levar à ocorrência do problema analisado e que cada efeito possui de impactar as equipes de desenvolvimento, e (ii) representando as causas e efeitos usando tons de cinza, onde causas e efeitos com maior probabilidade são mostrados mais próximos do centro e em tons mais escuros.

Equipes de desenvolvimento podem utilizar os diagramas para entender os fatores que contribuem para a ocorrência da DT e, se necessário, trabalhar em ações preventivas. Além disso, as equipes podem ter uma visão mais clara das possíveis consequências da DT em seus projetos. Com isso, é possível apoiar a realização de análises de impacto mais precisas e também a definição de ações corretivas para minimizar possíveis consequências negativas para o projeto.

Os diagramas elaborados também podem considerar meta-informações como: tamanho da equipe, do projeto e da organização, o modelo de processo utilizado e a idade do projeto. Assim, versões especializadas dos diagramas podem ser geradas a partir de diferentes conjuntos de projetos que, então, podem ser usados como referência por equipes de projeto similares. Por exemplo, considere uma situação em que a equipe de desenvolvimento esteja interessada em investigar as causas e os efeitos da dívida de projeto em seu projeto. Suponha que essa equipe seja pequena (<10 membros) e utilize metodologia ágil. Com base nesse cenário, é possível especializar os diagramas probabilísticos de causa e efeito para representar apenas as causas e efeitos da DT com dados originados de um contexto similar, como mostrado na Figura 5. Com o diagrama especializado, equipes de desenvolvimento possuem uma ferramenta mais customizada que pode ser mais efetiva em reuniões de análise da DT.

A Figura 5 apresenta o diagrama probabilístico de causa-efeito para as causas e efeitos da dívida de projeto em projetos de software que tenham equipes com até 10 membros e utiliza a metodologia ágil. No lado esquerdo da figura, o diagrama apresenta a probabilidade que cada causa tem de levar à ocorrência de dívida de projeto. O diagrama indica que as causas que levam a esse tipo de dívida geralmente estão relacionadas a *planejamento e gerenciamento* (41% das vezes). Dentro dessa categoria, a causa mais citada é *prazo*, seguido de *planejamento inadequado*. Outras causas comumente citadas para este tipo de dívida estão relacionadas a *questões de desenvolvimento* (14%) e *falta de conhecimento* (18%).

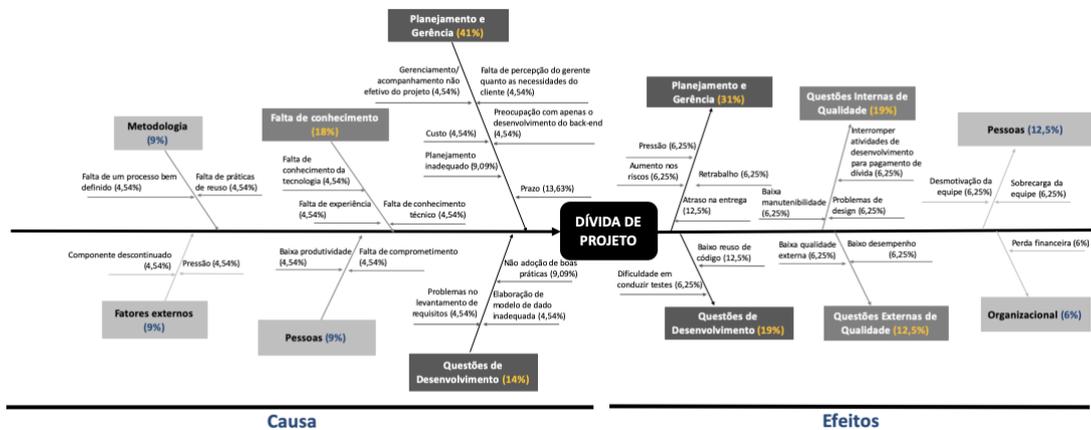


Figura 5. Diagrama probabilístico de causa-efeito para causas e efeitos da DT de projeto

No lado direito da Figura 5, o diagrama representa com que frequência cada efeito é comumente sentido em projetos de software que possuem dívida de projeto. Pode-se notar que os efeitos que as equipes de desenvolvimento geralmente enfrentam estão relacionados a questões de *planejamento e gerência* (31%). Dentro desta categoria, o efeito mais comumente citado é *atraso na entrega*, seguida de *aumento nos riscos* e *retrabalho*. Há também efeitos relacionados a *questões de desenvolvimento* como *baixo reuso de código* e *dificuldade em conduzir testes*.

5.1 Estudo de caso

A utilização dos diagramas probabilísticos foi avaliada através de um estudo de caso na academia. No estudo, dados de um projeto real foram utilizados para avaliar os diagramas elaborados através de uma simulação de reuniões para identificar causas e

efeitos da DT. O estudo de caso foi planejado com o objetivo de analisar os diagramas probabilísticos de causa e efeito da DT com o objetivo de caracterizá-los com relação à facilidade de uso, utilidade e possível uso futuro sob o ponto de vista de estudantes no contexto de projetos de desenvolvimento de software. Assim, buscou-se investigar se os participantes têm uma percepção positiva em relação ao uso dos diagramas. Não foi propósito deste estudo analisar se o uso dos diagramas leva a melhores decisões sobre as causas e efeitos identificados da DT. Essa análise exigiria a participação da equipe envolvida no desenvolvimento do projeto cujos dados foram utilizados, o que não foi possível durante a realização do estudo.

Como o objetivo do estudo está relacionado à percepção sobre o uso de uma nova tecnologia (os diagramas probabilísticos causa-efeito), conduziu-se a avaliação utilizando o *Technology Acceptance Model* (TAM) (Davis, 1989), que tem sido extensivamente utilizado em engenharia de software (Turner *et al.*, 2010). O TAM considera três constructos (utilidade percebida, facilidade de uso e uso futuro auto previsto), que são medidos por um conjunto de perguntas. As questões utilizadas foram adaptadas daquelas utilizadas por Ali Babar *et al.* (2007).

O estudo consistiu em analisar a aplicabilidade dos diagramas propostos através da simulação de reuniões de análise de causa e efeito da DT, cujo objetivo foi identificar, a partir de uma lista de itens de DT, suas possíveis causas e efeitos. A lista de itens da dívida foi extraída de um projeto de software real, o Sistema Nacional de Transplantes, desenvolvido por uma organização parceira. No total, um doutor, oito mestres e 63 estudantes de graduação participaram do estudo. Maiores detalhes sobre o planejamento do estudo podem ser obtidos no Capítulo 7 da tese (Rios, 2020).

5.1.1 Resultados

Respondendo às questões do formulário TAM, os participantes indicaram uma aceitação geral dos diagramas quanto à sua utilidade, facilidade de uso e uso futuro previsto. Em todas as afirmações analisadas em relação à utilidade, mais de 80% dos participantes concordaram com as afirmações. Mais especificamente, os resultados indicam que, ao utilizar os diagramas, pode-se esperar os seguintes benefícios: alta produtividade, maior desempenho e eficácia ao identificar causas e efeitos da DT.

Ao avaliar a facilidade de uso dos diagramas, cerca de 90% dos participantes indicaram que acharam fácil aprender como usar os diagramas. Cerca de 88% deles indicaram que a interação é clara e compreensível. Já 97% dos participantes indicaram que seria fácil se tornar hábil, enquanto 85% afirmaram que seria fácil lembrar como identificar causas e efeitos da DT utilizando os diagramas. Finalmente, cerca de 85% afirmaram que os diagramas são fáceis de usar.

Cerca de 93% dos participantes responderam que usariam os diagramas no futuro. No entanto, as respostas sobre as preferências dos participantes sobre como identificar causas e efeitos da DT foram distribuídas entre as diversas opções da escala. Isso pode sugerir que, embora os diagramas tenham sido bem aceitos, eles ainda parecem não estar prontos para uso. Cerca de 26% dos participantes responderam que prefeririam não utilizar os diagramas propostos.

Em relação às perguntas sobre impressões positivas e negativas dos participantes sobre o uso dos diagramas, os pontos positivos mais citados foram: facilidade de uso (28 participantes), agilidade na identificação de causas e efeitos da DT (24),

sistematização da identificação de causas e efeitos da DT (23), e mapeamento do conhecimento da indústria (11). Por outro lado, os participantes também apontaram que os diagramas podem causar uma possível dependência na identificação de causas e efeitos (11 participantes). Equipes poderiam limitar sua análise às causas/efeitos do diagrama (8) e há causas e efeitos que não estão presentes nos diagramas (5).

Finalmente, quando perguntados se o uso dos diagramas os ajudava a identificar causas e efeitos da DT que não teriam sido identificado sem o apoio deles, a maioria dos participantes respondeu que sim (89%), indicando que seu uso pode fazer com que equipes pensem fora da caixa ao analisar as causas e os efeitos da DT em seus projetos. Dessa forma, o estudo de caso forneceu evidências positivas de que os diagramas elaborados podem ser úteis para apoiar sessões de análises de causas e efeitos da DT.

O conhecimento organizado nos diagramas representa o estado da prática em termos de causas e efeitos da DT sentidos pelas equipes de desenvolvimento, conforme indicado pelo *survey* do projeto *InsighTD*. À medida que mais replicações do *InsighTD* são conduzidas, os diagramas serão atualizados com seus resultados.

6. Considerações Finais

Nesta seção, são discutidas as principais contribuições científicas, impactos acadêmico/profissional, contribuições para a indústria e os trabalhos futuros da tese.

6.1 Contribuições Científicas

A respeito das contribuições ligadas aos objetivos específicos da tese, tem-se primeiro a investigação do estado atual da pesquisa sobre DT (OE1). Foi possível evoluir a taxonomia dos tipos de DT considerando a definição consolidada de cada um deles. Obteve-se também uma lista de implicações para profissionais e pesquisadores da área, permitindo que pesquisadores tenham uma visão mais consolidada dos tópicos que merecem novas investigações e, para os profissionais, indicar tópicos que possuem evidências suficientes para serem aplicados na prática. Contribuições específicas desta etapa estão descritas na *Seção 3.7* do Capítulo 3 da tese (Rios, 2020).

Outra contribuição é a organização de um conjunto de dados experimentais sobre causas e efeitos da DT (RQ1, RQ2 e RQ3; OE2 e OE3), através do projeto *InsighTD*. Considerando as replicações do projeto no Brasil e Estados Unidos, com respostas de 206 profissionais, identificou-se que a maioria dos participantes (72%) estava familiarizada com o conceito de DT. Foram identificadas 98 causas, sendo as mais citadas *prazo*, *planejamento inadequado* e *falta de conhecimento*. As causas *prazo*, *falta de um processo bem definido* e *falta de conhecimento* foram consideradas como as que mais têm chances de levar à ocorrência da DT, seguidas de *falta de profissionais qualificados* e *não adoção de boas práticas*. Já sobre os efeitos, foram identificados 79, onde os mais comumente encontrados nos projetos foram *baixa qualidade externa*, *atraso na entrega* e *baixa manutenibilidade*. Estes efeitos também foram citados como os de maior impacto em projetos, seguidos de *perda financeira* e *retrabalho*. Maiores detalhes sobre as replicações e seus resultados estão descritos nos Capítulos 4, 5 e 6.

O corpo de conhecimento organizado em OE2 e OE3 foi estruturado, baseado nos clássicos diagramas de *Ishikawa*, em diagramas probabilísticos de causa e efeito da DT (RQ4; OE4 e OE5). Os diagramas apoiam reuniões, inspiradas em sessões de

análise causal de defeitos, de análise de causas e efeitos da DT. Detalhes sobre os diagramas e sua avaliação estão descritos no Capítulo 7 da tese (Rios, 2020).

Análises específicas também foram realizadas para responder a questões de pesquisa complementares à RQ2 e RQ3. Para essas questões, foram consideradas quatro replicações de *InsighTD* (Brasil, Chile, Colômbia e Estados Unidos), totalizando 432 participantes. Foi identificado que: (i) modelos de processo (ágil, híbrido, tradicional) impactam nos efeitos da DT sentidos por equipes de desenvolvimento; (ii) profissionais que trabalham em projetos ágeis são mais propensos a investir em atividades de monitoramento e pagamento de DT, e (iii) independente do modelo de processo, os profissionais acreditam a DT pode ser evitada. Em outro trabalho de síntese realizado, triangulando dados com um estudo externo, foi definido um mapa conceitual para DT de documentação, apresentando suas causas, efeitos e práticas para sua prevenção e pagamento. Mais detalhes estão descritos no Capítulo 8 da tese (Rios, 2020).

Por fim, as lições aprendidas sobre a execução de estudos em larga escala e na execução contínua e evolutiva de síntese de dados em engenharia de software obtidas através do projeto *InsighTD* estão apresentadas no Capítulo 9 da tese (Rios, 2020).

6.2 Impacto Acadêmico/Profissional

A Tabela 1 apresenta as publicações obtidas classificando-as em três categorias de contribuição: (i) Primária, que agrupa resultados diretos da tese; (ii) Secundária, que agrupa trabalhos contextualizados no projeto *InsighTD* e; (iii) Relacionada, agrupando publicações realizadas na área de DT, mas que não estão contextualizadas em *InsighTD*. As publicações secundárias também indicam o impacto que esta Tese tem causado em outros trabalhos do grupo e times de replicações internacionais do projeto. Na tabela, é indicada a categoria da publicação, tipo de publicação (periódico em **azul** e conferência em branco), participação da autora da Tese na lista de autores, o Qualis do periódico/evento e a referência do trabalho.

Tabela 1. Trabalhos disseminados

		Periódico / Conferência	Autoria	Qualis	Referência*
Primárias	1	IEEE Software	Primeira autora	A1	(Rios <i>et al.</i> , 2021a)
	3	Empirical Soft. Engineering Journal	Primeira	A1	(Rios <i>et al.</i> , 2020a)
	2	Information and Soft. Technology	Primeira	A1	(Rios <i>et al.</i> , 2018a)
	4	REFSQ	Primeira	A4	(Rios <i>et al.</i> , 2020b)
	5	TechDebt (MTD)	Primeira	A4	(Rios <i>et al.</i> , 2019a)
	6	AMCIS	Primeira	A3	(Rios <i>et al.</i> , 2019b)
	7	ESEM	Primeira	A3	(Rios <i>et al.</i> , 2018d)
Secundárias	8	SANER	Coautora	A2	(Freire <i>et al.</i> , 2021)
	9	Euromicro SEAA	Coautora	A4	(Ramac <i>et al.</i> , 2020a)
	10	ACM SAC	Coautora	A2	(Freire <i>et al.</i> , 2020a)
	11	EASE	Coautora	A3	(Freire <i>et al.</i> , 2020b)
	12	SBES	Coautora	A3	(Souza <i>et al.</i> , 2020)
	13	IS	Coautora	-	(Ramac <i>et al.</i> , 2020b)
	14	TechDebt (MTD)	Coautora	A4	(Perez <i>et al.</i> , 2020)
	15	SCCC	Coautora	B3	(Perez <i>et al.</i> , 2019)
Relacionadas	16	AMCIS	Coautora	A3	(Santos <i>et al.</i> , 2019)
	17	AMCIS	Coautora	A3	(Caires <i>et al.</i> , 2019)
	18	SEKE	Coautora	B1	(Caires <i>et al.</i> , 2018)
	19	SEKE	Primeira	B1	(Rios <i>et al.</i> , 2018c)
	20	Euromicro SEAA	Primeira	A4	(Rios <i>et al.</i> , 2018b)

21	Euromicro SEAA	Coautora	A4	(Ribeiro <i>et al.</i> , 2017)
----	----------------	----------	----	--------------------------------

* Vide referências completas em <https://bit.ly/3wvDP8M>

Outros quatro trabalhos foram submetidos recentemente para periódicos e estão em ajustes após a primeira rodada de revisão: **(i) IST (A1)** - Technical Debt Payment and Preventive Practices through the Lenses of Software Architects, **(ii) JSS (A2)** - Prevalence, Common Causes and Effects of Technical Debt: Results from a Family of Surveys with the IT Industry, **(iii) IEEE Software (A1)** - Pitfalls and Solutions for Technical Debt Management in Agile Software Projects, e **(IV) IEEE Software (A1)** Insight into Technical and Non-technical Perspectives of Technical Debt: The Voice of Experienced Practitioners.

Além das publicações, foram realizadas atividades de formação complementar incluindo curso sobre DT no SBQS e período sanduíche na Universidade de Maryland Baltimore County sob supervisão da Profa. Dra. Carolyn Seaman, uma das principais pesquisadoras da área de DT e estudos qualitativos em engenharia de software.

Este trabalho de doutorado também possibilitou a criação de uma extensa rede de relacionamento com a comunidade de pesquisa internacional na área de DT. Além do Brasil, pesquisadores de outros onze países se juntaram ao projeto (Arábia Saudita, Argentina, Chile, Colômbia, Costa Rica, Estados Unidos, Finlândia, Índia, Itália, Noruega e Sérvia). A lista completa de instituições e pesquisadores envolvidos está disponível em <http://www.td-survey.com/project-team/>. Os pesquisadores estão assim distribuídos pelos países participantes:

- Pesquisadores doutores (20): Brasil (2), Argentina (3), Finlândia (2), Sérvia (2), EUA (4), Itália (1), Noruega (1), Arábia Saudita (1), Colômbia (1), Chile (1) e Índia (2). Entre eles, pesquisadores reconhecidos pela sua excelência acadêmica: Carolyn Seaman – Univ. de Maryland; Forest Shull – Univ. Carnegie Mellon; Davide Falessi – Univ. de Roma; Valentina Lenarduzzi - Tampere University of Technology e Antonio Martini – Univ. de Oslo;
- Alunos de doutorado (8): dois no Brasil, dois na Colômbia, um na Sérvia, dois na Costa Rica e um nos EUA/Arábia Saudita;
- Alunos de mestrado (8): cinco no Brasil, um no Chile e dois na Costa Rica;
- Alunos de graduação (10): nove no Brasil e um na Costa Rica.

Dessa forma, a pesquisa desenvolvida nesta Tese construiu uma ampla rede de cooperação internacional. Ele tem contribuído com a formação de novos pesquisadores na área de engenharia de software e ampliação e fortalecimento de redes de relacionamentos entre pesquisadores e instituições de 12 países diferentes.

6.3 Contribuições para Indústria

O trabalho traz contribuições para a indústria de software. Além dos diagramas de causa e de efeito disponibilizados no portal do projeto (www.td-survey.com), também se está trabalhando no desenvolvimento da *Technical Debt Wiki*, que apresentará de forma consolidada as informações coletadas nas replicações. O projeto continua, atualmente *InsighTD* conta com sete replicações executadas, totalizando cerca de 670 respostas de profissionais. Com a *Wiki*, os resultados poderão ser facilmente acessados, não se restringindo à leitura de artigos científicos.

6.4 Trabalhos Futuros

Ainda há muito a ser pesquisado e explorado sobre DT. Considerando esta tese como ponto de partida, algumas perspectivas futuras de trabalho são:

- Atualização incremental dos diagramas probabilísticos de causa e efeito da DT à medida que as replicações do *InsighTD* forem consolidadas;
- Planejamento e execução de estudos de caso para avaliação dos diagramas na indústria;
- Estratégia de gestão da dívida técnica considerando o uso dos diagramas na análise de possíveis atividades de prevenção e pagamento da dívida a partir da análise de impactos trazidos pela sua presença;
- Replicação do *InsighTD* e síntese de resultados das replicações;
- Gestão da DT. O projeto *InsighTD* foi definido em torno de quatro questões de pesquisa principais, sendo a quarta delas focada na gestão da DT. Esta última questão de pesquisa não foi tratada nesta tese, entretanto, os times de replicação do *InsighTD* já têm trabalhado de forma colaborativa em diferentes perspectivas de análise considerando as questões do questionário sobre prevenção, monitoramento e pagamento da DT. Especificamente, essas informações têm sido a base para o direcionamento de uma nova tese de doutorado que tem sido desenvolvida neste mesmo programa de pós-graduação a partir de 2019.

7. Agradecimentos

Agradecemos à CAPES e ao CNPq (Universal 458261/2014-9) pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho. Agradecemos também aos demais membros do TDResearchTeam.com que contribuíram com esta pesquisa.

Referências

Ali-Babar, M., Winkler, D., and Biffi, S., “Evaluating the Usefulness and Ease of Use of a Groupware Tool for the Software Architecture Evaluation Process,” in Int. Symp. on Empirical Soft. Engineering and Measurement, pp. 430-439, Madrid, 2007.

Alves, N. S., Mendes, T. S., de Mendonça, M. G., Spínola, R. O., Shull, F., & Seaman, C. (2016). Identification and management of technical debt: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 70, 100-121.

Basili, V.R., Caldiera, G., and Rombach, H.D., 1994, “Goal Question Metric Paradigm, *Encyclopedia of Software Engineering*”, JJ Marciniak.

Besker, T., Martini, A., & Bosch, J. (2018a). Managing architectural technical debt: A unified model and systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 135, 1–16. doi:10.1016/j.jss.2017.09.025.

Davis, F.D., “Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology,” *MIS Quarterly*, 1989. 319-340.

Ernst, N. A., Bellomo, S., Ozkaya, I., Nord, R. L., Gorton, I. (2015). Measure it? Manage it? Ignore it? software practitioners and technical debt. In *Proceedings of the*

2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE 2015). ACM, New York, NY, USA, 50-60.

Griffith, I., Izurieta, C., Taffahi, H. & Claudio, D., A simulation study of practical methods for technical debt management in agile software development, in Proceedings of the 2014 winter simulation conference, Piscataway, NJ, USA, 2014.

Guo, Y., Spínola, R.O., Seaman, C., Exploring the costs of technical debt management – a case study. Empirical Software Engineering Journal. Fator de Impacto(2013 JCR): 1,6400, v.1, p.1 – 24, 2014. doi:10.1007/s10664-014-9351-7

Ishikawa, K., “Guide to Quality Control”, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1976.

Kalinowski, M., Travassos, G.H. and Card, D.N., “Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach”, In: Euromicro Conf. on Soft. Eng. and Advanced Applications, pp. 199-206, 2008.

Kruchten, P., Nord, R., and Ozkaya, I. “Technical debt: From metaphor to theory and practice,” Software, IEEE, vol. 29, no. 6, pp. 18–21, Nov 2012.

Martini, A., Bosch, J., and Chaudron, M., 2014. Architecture Technical Debt: Understanding Causes and a Qualitative Model. In Proceedings of the 2014 40th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA '14). IEEE Computer Society, USA, 85-92.

Martini A, Bosch J. On the interest of architectural technical debt: Uncovering the contagious debt phenomenon. J Softw Evol Proc. 2017; e1877.

Nord, R.; Ozkaya, I.; Kruchten, P. & Gonzalez-Rojas, M., In Search of a Metric for Managing Architectural Technical Debt, WICSA/ECSA 2012, IEEE CS, 2012.

Rios, N., de Mendonça Neto, M. G., & Spínola, R. O. (2018). A Tertiary Study on Technical Debt: Types, Management Strategies, Research Trends, and Base Information for Practitioners. Information and Software Technology.

Rios, Nicolli. Organização de um Conjunto de Descobertas Experimentais sobre Causas e Efeitos da Dívida Técnica através de uma Família de Surveys Globalmente Distribuída. 2020. 339p.: il. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

Seaman, C. & Guo, Y., Measuring and Monitoring Technical Debt, Advances in Computers, vol. 82, 2011.

Turner, M., Kitchenham, B., and Brereton, P., “Does the technology acceptance model predict actual use? A systematic literature review,” Information and Software Technology, vol. 52, pp. 463-479, 2010.

Yli-Huumo, J., Maglyas, A., & Smolander, K. (2016). The Effects of Software Process Evolution to Technical Debt—Perceptions from Three Large Software Projects. In Managing Software Process Evolution (pp. 305-327). Springer, Cham.

Yli-Huumo, J., Maglyas, A., Smolander, K. (2015). The benefits and consequences of workarounds in software development projects. In: Fernandes, J.M., Machado, R.J., Wnuk, K. (eds.) ICSOB 2015. LNBIP, vol. 210, pp. 1–16. Springer, Heidelberg (2015). doi:10.1007/978-3-319-19593-3_1.