

Desenvolvimento de um modelo integrado para o gerenciamento de risco de desastres baseado no LADM (ISO 19152) para Recife-PE, Brasil

Andrea F. T. CARNEIRO, Andreza S.R. MELO, Nathalia R.S. PURIFICAÇÃO e Diogo F. INOJOSA, Brasil

Palavras-chave: Modelo de Domínio de Administração de Terras (LADM), administração de terras brasileira, gestão de risco de desastres, DRM_Profile

RESUMO

Os autores utilizam o LA-DRM (Disaster Risk Management), uma extensão do LADM (Land Administration Domain Model) – ISO 19152, como base para o desenvolvimento de um modelo aplicado ao município de Recife-PE-Brasil. A modelagem espacial proposta permite associar unidades territoriais com diferentes condições de ocupação (formal, informal ou em processo de regularização) a atributos de risco, promovendo análises integradas entre vulnerabilidade socioambiental e posse da terra. No contexto de Recife, onde ocupações informais, fragilidade socioambiental e exposição a riscos climáticos se sobrepõem, espera-se que um sistema semelhante represente um avanço metodológico significativo. A pesquisa utilizou as classes básicas de uma proposta de LADM para cadastros brasileiros, que caracterizava a diversidade de relações entre pessoas e terra no Brasil. Para o módulo DRM, os atributos específicos para o caso de gestão de riscos inerentes ao município de Recife foram identificados e considerados na modelagem.

Keywords: Land Administration Domain Model (LADM), Brazilian land administration, disaster risk management, DRM_Profile

SUMMARY

The authors use LA-DRM (Disaster Risk Management), an extension of LADM (Land Administration Domain Model) – ISO 19152, as the basis for developing a model applied to the municipality of Recife-PE-Brazil. The proposed spatial modeling makes it possible to associate territorial units with different occupation conditions (formal, informal or in the process of being regularized) with risk attributes, promoting integrated analysis between socio-environmental vulnerability and land tenure. In the context of Recife, where informal occupations, socio-environmental fragility and exposure to climate risks overlap, a similar system is expected to represent a significant methodological advance. The research used the basic classes of a LADM proposal for Brazilian cadastres, that characterized the diversity of relationships between people and land in Brazil. For the DRM module, the specific attributes for the case of risk management inherent to the municipality of Recife were identified and considered in the modeling.

Desenvolvimento de um modelo integrado para o gerenciamento de risco de desastres baseado no LADM (ISO 19152) para Recife-PE, Brasil

Andrea F. T. CARNEIRO, Andreza S.R. MELO, Nathalia R.S. PURIFICAÇÃO e Diogo F. INOJOSA, Brasil

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, a cidade de Recife no estado de Pernambuco é considerada uma das mais vulneráveis do mundo aos efeitos das mudanças climáticas. Entre os principais riscos estão o aumento do nível do mar, a elevação da temperatura, o incremento das chuvas e a intensificação de eventos como inundações, ondas de calor e deslizamentos de terra (Melo et al., 2021). Tais fatores agravam a exposição das comunidades que habitam áreas de risco, especialmente em contextos de informalidade fundiária, ausência de registros atualizados e infraestrutura precária. Sistemas de administração territoriais bem estruturados são reconhecidos como instrumentos fundamentais para ações preventivas e emergenciais relacionadas aos efeitos dos eventos extremos.

Nesse contexto, Unger (2019) elaborou o módulo LA-DRM (Land Administration for Disaster Risk Management), como uma extensão do LADM (Land Administration Domain Model) – ISO 19152. Neste estudo, os autores adotam o LA-DRM como referência para desenvolver um modelo voltado ao município de Recife. A modelagem espacial proposta permite associar unidades territoriais com diferentes condições de ocupação (formais, informais ou em processo de regularização) a atributos de risco, promovendo a análise integrada entre vulnerabilidade socioambiental e situação fundiária. Isso contribui diretamente para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes voltadas ao reassentamento, mitigação, regularização fundiária e planejamento urbano sustentável. Segundo Unger et al. (2019), a estrutura do modelo LA-DRM é especialmente aplicável em áreas urbanas caracterizadas por elevados níveis de informalidade e deficiência cadastral, possibilitando a representação de vínculos territoriais mesmo na ausência de registros legais formalizados. No contexto do Recife, onde se sobrepõem ocupações irregulares, fragilidade socioambiental e exposição a riscos climáticos, espera-se que um sistema similar represente um avanço metodológico relevante.

A pesquisa utilizou as classes básicas da proposta de LADM para cadastros brasileiros apresentada por Purificação (2020), que desenvolveu e testou a integração dos cadastros brasileiros e caracterizou a diversidade de relações entre pessoas e terra existentes no Brasil. Esta é uma questão fundamental no contexto do gerenciamento de riscos. Para o módulo DRM, foram identificados e considerados na modelagem os atributos específicos para o caso do gerenciamento dos riscos inerentes ao município de Recife.

2. GERENCIAMENTO DE RISCO DE DESASTRES (DRM - *Disaster Risk Management*)

O risco de desastre é comumente definido como o resultado da interação entre vulnerabilidade, exposição e perigo associado às mudanças climáticas. Essa perspectiva ressalta que a administração territorial precisa considerar múltiplas dimensões para enfrentar eventos extremos que impactam a vida humana, o ambiente natural e a economia em diferentes escalas geográficas, sobretudo quando tais eventos ultrapassam fronteiras políticas e administrativas (UNDRR, 2017). Diante do cenário atual, é importante que os gestores públicos apliquem metodologias de gerenciamento de riscos de desastres ou DRM (*Disaster Risk Management*), entendidas como aplicação de políticas e estratégias voltadas para prevenir a criação de novos riscos, reduzir riscos já existentes e lidar com riscos residuais, fortalecendo a resiliência social e econômica e diminuindo as perdas ocasionadas por eventos extremos.

2.1 A administração fundiária e o gerenciamento de riscos

A administração fundiária e o gerenciamento de riscos de desastres são temas que vêm sendo amplamente discutidos para o aprimoramento da governança de terras e da gestão territorial. Assim, o aumento da quantidade e da escala de desastres naturais tem gerado uma demanda pelo desenvolvimento da integração de políticas, práticas e pessoas associadas com Administração Territorial (LA) e Gerenciamento de Risco de Desastres (DRM). Nesse sentido, de acordo com Dhungana et al. (2025), os modelos científicos são indispensáveis para compreender processos complexos e apoiar a Gestão de Riscos de Desastres, ainda que tragam incertezas inerentes que dificultam sua aplicação prática. Neste cenário, destaca-se o papel de modelos conceituais como o Land Administration Domain Model (LADM – ISO 19152:2012), que, embora não seja um modelo probabilístico ou determinístico, oferece uma base padronizada para organizar informações territoriais. Essa estrutura é crucial para que projeções e simulações de risco possam ser efetivamente integradas às ações de planejamento, mitigação e resposta, ao relacionar áreas de perigo a direitos de propriedade, ocupação do solo e vulnerabilidades sociais.

Esta necessidade tem resultado em conceitos, ferramentas e padrões para o melhor integração dos domínios, segundo Unger et.al. (2020). O modelo proposto pela ISO 19.152 – LADM (*Land Administration Domain Model*) foi utilizado por Unger (2019) para construir um modelo de integração LA-DRM. A base conceitual do modelo contempla as classes centrais do LADM (LA_Party, LA_SpatialUnit e LA_RRR) ampliadas por uma estrutura adicional dedicada ao gerenciamento de risco: a DRM_Profile. Essa classe inclui atributos específicos como grau de vulnerabilidade, exposição e tipo de ameaça, que permitem representar tanto aspectos fundiários formais quanto a criticidade das unidades espaciais frente a eventos extremos.

2.2 Riscos de desastres em Recife

Segundo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) aproximadamente 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas vivem em contextos altamente vulneráveis à

mudança do clima resultando em impactos adversos generalizados como perdas e danos à natureza e às pessoas. Nesse cenário, as comunidades mais vulneráveis, que historicamente contribuíram menos com as emissões que causam o aquecimento global, sofrem de maneira desproporcional. Como resultado, os impactos dificultam os esforços para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS (IPCC, 2023).

A intensificação dos riscos associados às áreas costeiras, somada ao avanço do desenvolvimento urbano e à elevada concentração populacional nessas regiões, evidencia a urgência de estratégias de adaptação. Entretanto, em grande parte das zonas costeiras, a efetivação dessas medidas ainda é restrita, limitada por barreiras técnicas, econômicas, financeiras e sociais. A gestão territorial para estas áreas deve dispor de planos, ações e respostas específicas, baseadas em informação qualificada, capazes de enfrentar os impactos e custos atuais e futuros decorrentes da elevação do nível do mar e das mudanças climáticas (NICOLODI; PETERMANN, 2010, GRIGGS; REGUERO, 2021).

No Brasil, a vulnerabilidade dessas áreas se intensifica pela elevada concentração populacional na faixa litorânea, especialmente em áreas urbanas. Problemas já recorrentes, como enchentes, deslizamentos, escassez de água potável e ilhas de calor, tendem a se agravar diante do aquecimento global e da intensificação dos ciclos de chuva e estiagem (ROCHA, 2023 ; LEMOS, 2024). De acordo com o *Atlas de Vulnerabilidade à Erosão Costeira e Mudanças Climáticas em Pernambuco*, o litoral do estado abrange treze municípios, dos quais nove integram a Região Metropolitana do Recife (RMR). Essa faixa costeira é naturalmente dinâmica, frágil e complexa, mas vem sofrendo intensa pressão urbana. Nela se concentram atividades econômicas, industriais, turísticas e de lazer, que, embora fundamentais para a região, também geram impactos e problemas ambientais (PEREIRA et al, 2015). No âmbito regional, a RMR apresenta elevada urbanização, desigualdades socioeconômicas e desafios ambientais. A área é frequentemente afetada por inundações, deslizamentos de encostas, ondas de calor e erosão costeira, fenômenos que se intensificam devido ao crescimento urbano desordenado e à impermeabilização do solo (MARENGO et al, 2023).

Diante do cenário de intensificação dos riscos climáticos e da crescente vulnerabilidade das áreas urbanas costeiras, especialmente na Região Metropolitana do Recife, torna-se evidente que as respostas tradicionais de gestão territorial não são suficientes para lidar com a complexidade e a urgência dos desafios contemporâneos.

O índice de risco crítico para a cidade do Recife foi calculado com base na metodologia de identificação de áreas críticas desenvolvida pelo Banco Mundial e a Universidade de Columbia - New York (DILLEY, 2005). O índice final considera a sobreposição da ocorrência do risco crítico de cinco ameaças: inundação fluvial, seca meteorológica, ondas de calor, doenças transmissíveis e deslizamentos.

3. MODELAGEM LA_DRM PARA O RECIFE

O modelo conceitual DRM para o município de Recife foi concebido como um módulo especializado, em expansão à modelagem LADM de um sistema integrado para os cadastros brasileiros desenvolvida por Purificação (2020). Conforme ilustrado na Figura 1, o módulo básico de integração é constituído pelas classes primárias *LA_Party*, *BR_Agency*, *BR_BAUnit*, *LA_RRR* e *LA_SpatialUnit*, enquanto o módulo DRM amplia este modelo, herdando as

classes primárias e incorporando *Hazard*, *Exposure* e *Vulnerability* como componentes interativos para a gestão do risco de desastres.

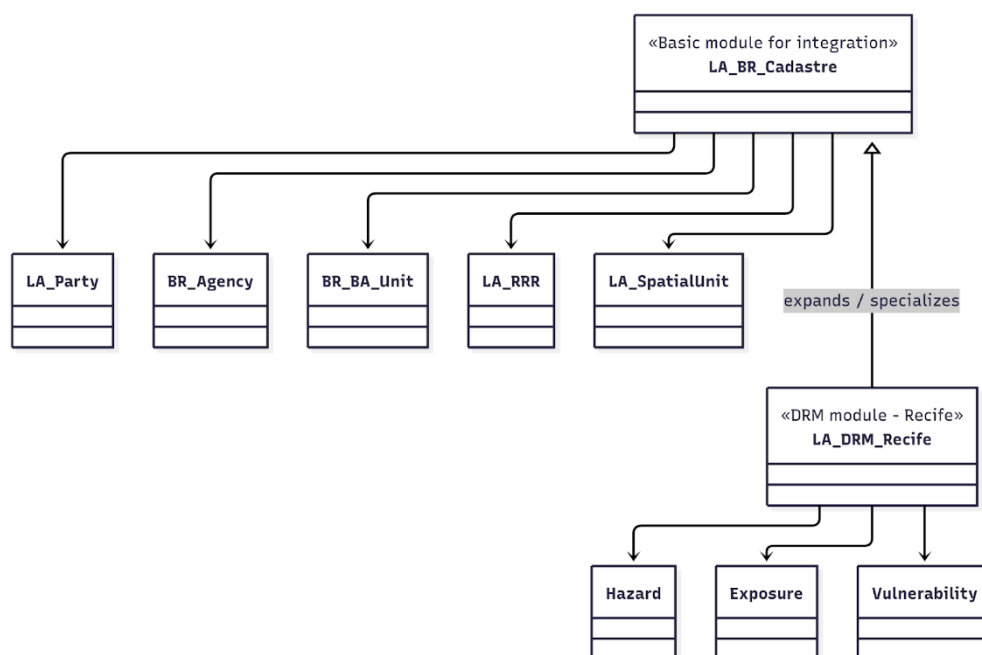


Figura 1. Estrutura de integração do módulo básico para os cadastros brasileiros com o módulo DRM. Fonte: Os autores (2025)

O módulo básico de integração (*LA_BR_Cadastre*), utilizado nesta pesquisa como ponto de partida para a construção do módulo DRM, foi concebido com o objetivo de enfrentar a fragmentação dos cadastros fundiários no Brasil. Em síntese, o modelo contempla as classes básicas do LADM, representadas nas cores verde (pacote das partes), amarelo (pacote administrativo), azul (pacote das unidades espaciais) e lilás (subpacote dos levantamentos e representações). As classes externas, criadas para materializar especializações dos cadastros brasileiros, foram representadas na cor salmão-escuro e identificadas pelo prefixo “BR”. As classes-chave do modelo são a *BR_BAUnit*, incluída para integrar os imóveis rurais, urbanos e os da União, e a *BR_Agency*, que representa o órgão administrador do cadastro, podendo corresponder tanto aos municípios quanto aos órgãos responsáveis pelos demais cadastros existentes no Brasil.

Para o desenvolvimento do módulo de risco para o município de Recife (*LA_DRM_Recife*), foram modelados os três fatores de risco apresentados em Unger, Zevenbergen e Bennett (2017) e Unger et al. (2019). Embora este último proponha a extensão do LADM/STDM por meio da criação de atributos específicos de DRM, nesta pesquisa optou-se por adotar o tripé *Hazard-Vulnerability-Exposure* como classes próprias e independentes. Essa abordagem permite uma especialização mais detalhada e a incorporação de um novo nível de informação (uma nova camada) em um sistema cadastral já existente, o que facilita a análise de risco e possibilita a reutilização em diferentes cenários. Os atributos de risco específicos foram definidos a partir das variáveis físicas e ambientais condicionantes do perigo/ameaça de desastre, bem como das variáveis socioeconômicas e de vulnerabilidade — estas últimas

baseadas no Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) — apresentadas em Xavier et al. (2019). O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) é um parâmetro que utiliza indicadores do Atlas do Desenvolvimento Humano (ADH) no Brasil, buscando destacar as diferentes situações indicativas de exclusão e de vulnerabilidade social no território brasileiro, numa perspectiva que vai além da identificação da pobreza entendida apenas como insuficiência de recursos monetários (COSTA; MARGUTI, 2015). Os três subíndices que o compõem são: i) Infraestrutura Urbana; ii) Capital Humano e iii) Renda e Trabalho.

Na seção seguinte, são apresentados os resultados obtidos por meio da representação e análise dos relacionamentos estabelecidos entre as classes, as possibilidades de especialização decorrentes da introdução dos fatores *Hazard - Vulnerability - Exposure* e as implicações para a integração com os cadastros brasileiros. Além disso, discute-se o potencial do modelo em apoiar processos de tomada de decisão relacionados à prevenção, mitigação e gestão de riscos de desastres no contexto urbano do Recife.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O risco de desastres é entendido, neste trabalho, como um constructo derivado da interação entre *Hazard*, *Vulnerability* e *Exposure*, que constituem as classes centrais do módulo *LA_DRM_Recife*. Nesta seção, são apresentadas as principais características conceituais utilizadas na modelagem, bem como a definição de seus atributos e relacionamentos estabelecidos com as demais classes do módulo básico *LA_BR_Cadastre*.

4.1 Modelagem da classe *BR_DRM_Hazard*

O conceito de *hazard*, no contexto da modelagem DRM, é definido como um perigo/ameaça de um fenômeno potencialmente destrutivo, que poderia causar perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais. No âmbito deste estudo, os *hazards* foram categorizados como sendo de origem natural (ex.: uma inundação, enchente, deslizamento) ou antrópica (ex.: falhas estruturais como o rompimento de barragens). Uma instância da classe *BR_DRM_Hazard* pode ser caracterizada em intensidade, frequência e localização espacial. A modelagem precisa desta classe serve como entrada fundamental para subsidiar ações de prevenção, mitigação e formulação de políticas públicas para um planejamento territorial que considere a gestão de risco de desastres.

4.1.1 Atributos e relacionamentos

A classe *BR_DRM_Hazard* é estruturada pelos seguintes atributos primários, essenciais para a sua identificação e avaliação:

hazardID: o identificador unívoco do perigo;

hazardType: a classificação do tipo de ameaça (ex.: hidrológica, geotécnica);

estimatedSeverity: valor da severidade estimada, que pode ser expresso em classes (baixa, média ou alta);

frequency: estimativa da frequência/probabilidade de ocorrência do evento em uma determinada janela de tempo.

O relacionamento entre um *Hazard* e o território é estabelecido por meio da associação entre a classe *BR_DRM_Hazard* e as instâncias da classe *BR_SpatialUnits*, que faz parte do módulo básico LA_BR_Cadastré. Esta relação direta permite determinar as unidades espaciais potencialmente afetadas pelo perigo.

Além disso, quando um *hazard* se materializa em um evento real, ele é registrado como uma instância da classe *BR_DRM_Disaster*. Esta classe captura as características da ocorrência efetiva, sendo modelada com os seguintes atributos:

disasterID: o identificador unívoco do evento do desastre;

disasterType, o tipo de desastre ocorrido (ex.: enchente, inundação, deslizamento, rompimento de barragem);

occurrenceDate: a data de ocorrência do evento,

severityValue: o valor quantitativo da severidade da ocorrência registrado no momento da ocorrência. Este valor deve ser mensurado por meio de métricas físicas, extraídas da engenharia civil, hidrologia e geotecnologia, que se relacionam diretamente com os tipos de desastres que ocorrem no município de Recife.

severityType_value: Descrição da variável física utilizada para a mensuração da severidade. Exemplos incluem o volume de material deslocado (m³) ou a distância percorrida (m) para deslizamentos, cota de inundação(m) para enchentes ou inundações, e altura da lâmina d'água (m), para o rompimento de barragens.

A Figura 2 apresenta a classe *BR_DRM_Hazard*, assim como seus relacionamentos no modelo conceitual. Um *hazard* pode não gerar nenhum desastre ou originar múltiplos desastres registrados (ex.: enchentes recorrentes em um mesmo bairro), enquanto cada evento de desastre deve estar associado a, no mínimo, um *hazard* que o explica. Além disso, um *hazard* pode afetar nenhuma, uma ou várias unidades espaciais, ao passo que cada unidade espacial pode, ou não, ser impactada por um *hazard*.

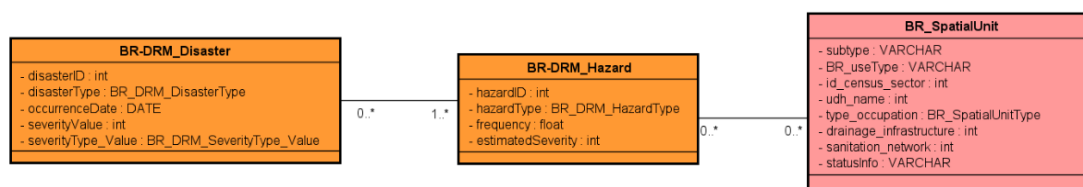


Figura 2. Classe *BR_DRM_Hazard* e relacionamentos. Fonte: Os autores (2025)

4.2 Modelagem da classe *BR_DRM_Vulnerability*

A vulnerabilidade (*Vulnerability*) foi modelada como um conjunto de características sociais, econômicas e institucionais que tornam indivíduos ou grupos de indivíduos mais suscetíveis aos efeitos danosos de um *hazard* e à perdas em casos de desastres.

A classe *BR_DRM_Vulnerability* tem um papel fundamental na composição do risco, pois determina a capacidade de resistir, responder e se recuperar de um impacto, tendo em vista que populações com maior vulnerabilidade, estatisticamente sofrem mais perdas (UNGER et al., 2019).

4.2.1 Atributos e relacionamentos

Os atributos modelados nesta classe visam quantificar e categorizar a capacidade de resposta da parte a ela associados. São atributos da class *BR_DRM_Vulnerability*:

vulnerabilityID: identificador unívoco da instância de vulnerabilidade;

vulnerabilityType: classificação do tipo de vulnerabilidade registrada. Pode ser do tipo social, ambiental, econômica, habitacional, dentre outras;

level: o nível de vulnerabilidade tipicamente categorizado como baixo, médio ou alto, sendo derivado da agregação dos índices;

ivs_total: métrica agregada que resume a vulnerabilidade da parte/unidade espacial com base em fatores como renda, educação e infraestrutura;

ivs_infrastructure: reflete a qualidade do ambiente construído. Representa o acesso a saneamento básico, energia, mobilidade urbana e água;

ivs_income_work: índice de vulnerabilidade de renda e trabalho. Indica a estabilidade econômica e a capacidade de recuperação financeira da parte afetada;

educationLevel: o nível de escolaridade da parte cadastrada;

Na modelagem proposta, a classe *BR_DRM_Vulnerability* se relaciona diretamente com a classe *BR_Party* que podem representar indivíduos residentes em áreas de vulnerabilidade. Essa associação é crucial para definir estratégias de intervenção e mitigação socialmente justas. Na figura 3, pode-se observar o relacionamento existente entre as classes.

Estabeleceu-se uma relação na qual uma instância da classe *BR_Party* pode estar associada a nenhuma ou muitas instâncias da classe *BR_DRM_Vulnerability*. Em contrapartida, cada instância da classe *BR_DRM_Vulnerability* deve estar associada a uma única parte, garantindo que o perfil de vulnerabilidade seja rastreado a um indivíduo específico.

Para otimizar a aplicação do modelo para a gestão de riscos, a classe *BR_Party* foi estendida com a inclusão de três atributos DRM, alinhados com as recomendações da literatura (UNGER, ZEVENVERGEN e BENNETT, 2017):

statusInfo: pode indicar se, em casos de desastres, a parte já solicitou ou recebeu auxílio financeiro para reconstrução/recuperação da área perdida/danificada, se a pessoa é falecida, se é idoso maior de 60 anos, pessoa com deficiência ou se é uma mulher chefe de família;

gender: representa o gênero da parte cadastrada. Indicador essencial de vulnerabilidade social, dado que o gênero influencia a segurança da posse e o acesso a recursos de recuperação pós-desastres;

income: registra o nível de renda de cada parte em intervalos de salários mínimos. A renda tem grande relevância para a avaliação da vulnerabilidade econômica do indivíduo ou da família.

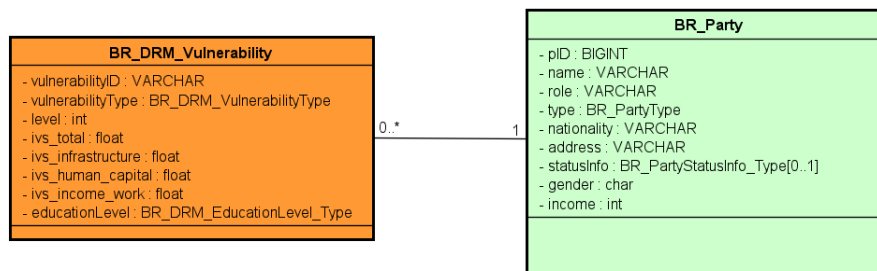


Figura 3. Classe BR_DRM_Vulnerability e seu relacionamento.

4.3 Modelagem da classe BR_DRM_Exposure

No contexto deste trabalho, a exposição (*Exposure*) define o grau em que as unidades espaciais (parcelas) e as benfeitorias nelas contidas (edificações, infraestrutura) estão situadas em áreas suscetíveis a ameaças (*hazards*).

Conforme estabelecido na literatura sobre DRM e administração fundiária, o fator de risco *Exposure* possui uma relação direta com a forma que a terra é administrada. Unger, Zevenbergen e Bennett (2017) destacam que a ausência e registro sobre a relação pessoa-terra, especialmente em situações informais, resulta em um aumento da incapacidade de resposta da comunidade na mitigação de desastres, o que, conseqüentemente, eleva o nível de exposição.

Deste modo, para que a modelagem seja eficaz na Gestão de Riscos, os cadastros territoriais devem registrar todos os tipos de unidades espaciais, independente da formalidade jurídica, para realizar a correta associação destas unidades a um nível de exposição baseado no mapeamento de *hazards*. Esta abordagem inclusiva é fundamental para o gerenciamento de risco nas áreas mais vulneráveis de Recife.

4.3.1 Atributos e relacionamentos

A classe BR_DRM_Exposure é estruturada com um conjunto de atributos projetados para quantificar e categorizar o nível de susceptibilidade de uma unidade espacial a um *hazard* potencial, conforme o contexto geotécnico e de uso da terra da cidade do Recife.

Os atributos modelados são os seguintes:

exposureID: o identificador unívoco da exposição;

exposureLevel: o nível de exposição da unidade espacial. É um atributo categórico sintético, classificado como baixo, médio ou alto, sendo derivado da análise dos demais atributos físicos da unidade;

slope: a faixa de declividade do terreno da unidade espacial, medida em graus (0 - 11°, 11 - 27°, >27°). Este é um atributo crucial para a análise de risco de deslizamentos;

landUse: a classificação da cobertura e o uso do solo na unidade espacial. É categorizado em vegetação, área urbana consolidada, solo exposto, entre outras classes relevantes para a dinâmica de risco local;

lithology: a categorização geológica da unidade espacial, que influencia diretamente na estabilidade do terreno. As categorias refletem as formações encontradas no município de

Recife, como Formação de Barreiras, Formação Cabo, Formação Gramame, Formação Beberibe, dentre outras;

soilType: a classificação do tipo de solo da unidade, essencial para determinação da capacidade de infiltração e o comportamento em caso de saturação hídrica. Exemplos de tipo de solo incluem os argissolos, gleissolos, latossolos, dentre outros;

reliefPattern: o tipo de forma padrão do relevo predominante na unidade espacial. Exemplos de padrão de relevo relevantes para a região incluem colinas, morros baixos, tabuleiros dissecados, dentre outros.

No modelo conceitual, BR_DRM_Exposure se relaciona diretamente com a classe BR_SpatialUnit (Figura 4), de modo que cada unidade espacial deva ter ao menos um nível de exposição, enquanto um nível de exposição deve estar associado a uma *spatial unit*.

A classe BR_SpatialUnit também foi estendida, considerando a recomendação apresentada em Unger, Zevenbergen e Bennett (2017) com a inclusão do seguinte atributo:

statusInfo: pode indicar que, em situações pré-desastres, a unidade espacial está localizada em zona de risco ou se é uma ocupação informal e, em situações pós-desastres, se é uma área afetada/danificada, uma parcela reassentada ou remanejada ou ainda, se está aguardando reconstrução/revalidação.

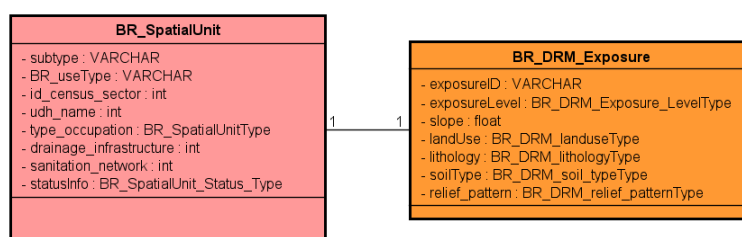


Figura 4. Classe BR_DRM_Exposure e seu relacionamento. Fonte: Os autores (2025)

4.4 Modelagem das classes complementares

Para aperfeiçoar a representação do contexto da modelagem de risco para o município de Recife, foram introduzidas classes adicionais, concebidas como especializações locais do modelo conceitual proposto. Estas classes complementares detalham informações cruciais para uma análise de risco socialmente informada.

4.4.1 Classe BR_DRM_Family

A classe *BR_DRM_Family* foi modelada como uma especialização do pacote das partes, como subclasse da classe *LA_GroupParty* (Figura 5), para representar um grupo de indivíduos unidos por um relacionamento familiar. Alguns atributos de vulnerabilidade social e econômica precisaram ser detalhados nesta classe:

n_members: o número total de indivíduos que compõem a família. Pode ser utilizado para calcular a densidade populacional e escala do impacto humanitário de um *hazard* ou desastre materializado;

vulnerabilitySituation: classificação categórica que resume a vulnerabilidade familiar. Pode ser definida como extrema pobreza, média, baixa.

dependence_elderly_income: indica se a renda familiar depende de membros idosos (ex.: aposentados, pensionistas ou beneficiários sociais);
presence_child_labor: indica a presença ou não de trabalho infantil na família.

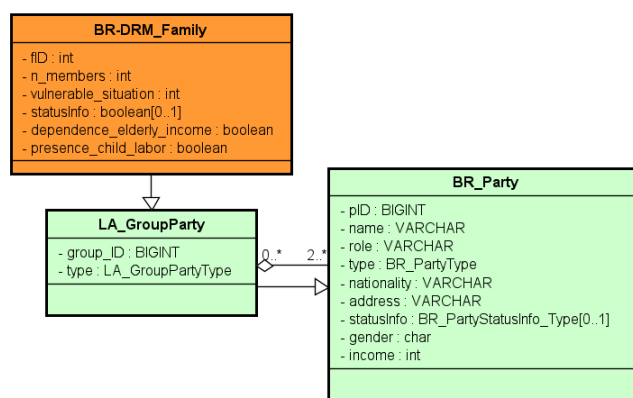


Figura 5. Classe complementar BR_DRM_Family e seus relacionamentos. Fonte: Os autores (2025)

4.4.2 Classes BR_DRM_Affected_Area e BR_DRM_Survey_Affected_Area

As duas classes foram incluídas no modelo para registrar informações sobre uma área mapeada que é afetada por um evento materializado em *BR_DRM_Disaster*.

A classe *BR_DRM_Affected_Area* delimita a área impactada por um desastre específico e possui dois atributos:

affectedArea_ID: guarda o identificador único da geometria mapeada da área afetada em um sistema de informações territoriais;

description: descrição textual da área afetada.

A classe *BR_DRM_Survey_Affected_Area* registra informações sobre os levantamentos espaciais da área afetada e possui os seguintes atributos:

surveyID: o identificador único do levantamento;

date: a data do levantamento;

surveyType: o tipo de levantamento realizado (colaborativo, drone, GNSS, topográfico);

responsible: o responsável pelo levantamento (técnico ou comunitário).

Na Figura 6 pode-se observar que uma instância da classe *BR_DRM_Affected_Area* está sempre associada a um único desastre e que ela pode se relacionar com pelo menos uma ou muitas unidades espaciais, permitindo a representação de diferentes cenários de impacto territorial. Por outro lado, uma unidade espacial pode estar associada a nenhuma ou muitas áreas afetadas. Enquanto uma instância da classe *BR_DRM_Survey_Affected_Area* está sempre vinculada a uma área afetada.

No contexto de um cadastro territorial integrado ao módulo DRM, a modelagem destas classes evidencia como os desastres estão relacionados ao espaço geográfico por meio da delimitação de áreas afetadas e da associação destas às unidades espaciais já cadastradas.

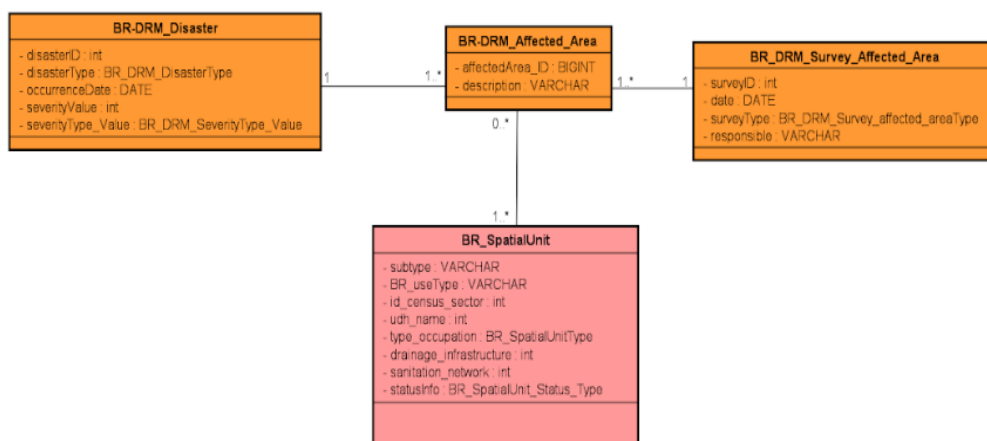


Figura 6. Modelagem das classes BR_DRM_Affected_Area e BR_DRM_Survey_Affected_Area e seus relacionamentos. Fonte: Os autores (2025)

4.4.3 Classe neighborhood

A classe Neighborhood foi modelada como uma especialização do pacote BR_PoliticalAdministrativeArea. A divisão de bairro corresponde a divisões internas dos Municípios que são legalmente instituídos pelo Poder Municipal. No Brasil, a existência de bairros legalmente constituídos é uma expressão da autonomia municipal prevista na Constituição Federal de 1988, não sendo imperativa para o Município a instituição de bairros. Neste trabalho é importante a especialização de bairro pelo fato de todo o território do município de Recife ser dividido em bairros e pela metodologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que considera a representação dos bairros na conformação dos Setores Censitários (IBGE, 2022):

id_neighborhood: identificador unívoco do bairro, composto por 10 dígitos, sendo sete dígitos referentes ao geocódigo do Município a que pertence, e os três dígitos seguintes corresponde ao Bairro;

name: nome do bairro;

total_population: total da população vinculado ao bairro;

population_density: total da população vinculado ao bairro sobre a área.

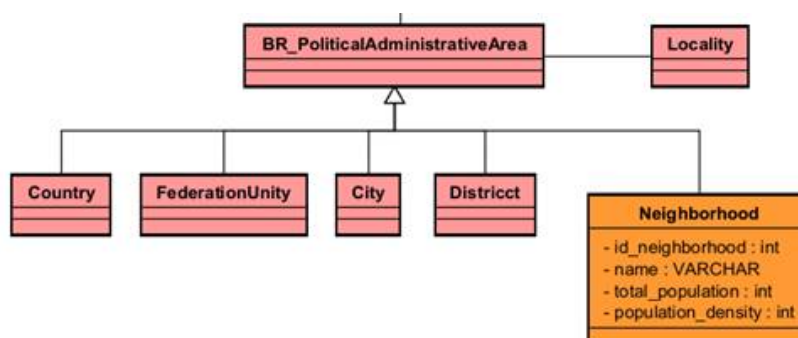


Figura 7. Classe complementar *Neighborhood* e seus relacionamentos. Fonte: Os autores (2025)

4.5 Modelagem Final da proposta integrada

O modelo conceitual desenvolvido neste trabalho integra o módulo de cadastro de risco de desastres (*LA_DRM_Recife*) à modelagem LADM adaptada para os cadastros brasileiros (*LA_BR_Cadastrre*), o que resulta em uma solução unificada que combina informações territoriais, administrativas e de risco.

A parte central do modelo são as classes primárias do LADM — *LA_Party*, *LA_BA_Unit* e *LA_SpatialUnit*. A classe *LA_RRR* foi substituída pela classe *LA_STR*, que engloba não apenas as situações legais representadas no LADM, mas também as relações sociais de posses informais e costumeiras, o que garante uma visão completa do risco, evitando “ilhas de informação” e equidade na resposta, no qual todos os moradores, detentores ou não de título, possam ser registrados em um mesmo sistema e sejam considerados para situações de auxílio, reassentamento ou reconstrução.

Além das classes primárias, o módulo básico é complementado pelas classes de especialização, *BR_BAUnit* e *BR_Agency*, que permitem a integração dos imóveis rurais, urbanos e públicos, assim como a inclusão do órgão administrador dos cadastros.

O módulo *LA_DRM_Recife*, representado no modelo na cor laranja, possui como classes principais a *BR_DRM_Hazard*, *BR_DRM_Vulnerability* e *BR_DRM_Exposure*. Estas classes representam, respectivamente, as ameaças de desastre, os fatores socioeconômicos e institucionais de vulnerabilidade e os elementos espaciais expostos ao risco. De modo complementar, a classe *BR_DRM_Disaster* descreve eventos efetivamente ocorridos, enquanto a classe *BR_DRM_Affected_Area* vincula uma área mapeada à ocorrência de um evento, sendo as informações de levantamento da área afetada, registradas na classe *BR_DRM_Survey_Affected_Area*.

As classes *LA_SpatialUnit* e *BR_SpatialUnit*, representam as unidades espaciais e constituem a conexão territorial do modelo, permitindo associar os desastres e as áreas afetadas ao cadastro já existente. O modelo também inclui classes administrativas de apoio como o uso da terra (*BR_LandUse*), restrições (*LA_Restriction*), responsabilidades (*LA_Responsability*) e fontes administrativas (*LA_AdministrativeSource* e *LA_Source*). Deve-se destacar que estas fontes administrativas, para o contexto da gestão de riscos, incorporam não apenas os documentos legais, como aqueles oriundos dos registros imobiliários. Além disso, incluem as fontes informais e não-formais, resultado de mecanismos sociais, como registros de ocupação, mapeamento colaborativo ou outros documentos comunitários.

Por fim, a dimensão política e territorial é representada pela classe *BR_PoliticalAdministrativeArea* e suas especializações — país, unidade da federação, cidade, distrito e bairro — que viabilizam a gestão e a integração em diferentes níveis de gestão.

Deste modo, o modelo conceitual proposto combina as informações oriundas dos cadastros territoriais e informações de risco de desastres em um único sistema, assegurando a interoperabilidade e a padronização dos dados, o que favorece o processo de tomada de decisão.

A Figura 8 apresenta o modelo completo para a gestão de risco de desastres no município de Recife.

5. CONCLUSÕES

O trabalho está em sintonia com o resultado de pesquisas recentes que indicam a importância da integração de dados geoespaciais com dados referentes às pessoas que ocupam o território, especialmente no cenário de emergências resultantes de eventos extremos.

No contexto brasileiro, trata-se de uma pesquisa inédita sobre gerenciamento de riscos e desastres na administração fundiária, com grande relevância local e internacional. Portanto, se destaca como ponto de partida para discussão do tema no país, servindo de base para novos estudos e aplicações. Além disso, o módulo LA_DRM_Recife impacta na efetivação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, apoiando a construção de cidades mais resilientes e inclusivas.

O resultado da modelagem demonstrou que o padrão LADM é adequado para a modelagem do gerenciamento de riscos de um município de território complexo e grande vulnerabilidade, como é o caso de Recife. Neste trabalho, foi utilizado o Índice de Vulnerabilidade Social – IVS como principal indicador para o gerenciamento de risco, porém existem estudos que indicam outras variáveis que podem ser incluídas na modelagem, devido à flexibilidade do modelo.

Posteriormente, o módulo desenvolvido deve ser implementado para análise aplicada, de modo a verificar sua efetividade na identificação de áreas de risco, em ações de prevenção e de mitigação. Com isso, espera-se avaliar aspectos de interoperabilidade com os cadastros já existentes e explorar o potencial do modelo por meio da construção de estudos de caso em diferentes cenários.

A integração da proposta realizada nesta pesquisa com sistemas de monitoramento e com bases de dados ambientais e sociais pode ampliar de forma substancial a aplicabilidade do modelo, dando suporte para ações mais assertivas e contribuindo para a formulação de políticas públicas para o gerenciamento de risco de desastres.

REFERÊNCIAS

- Costa, M. A., & Marguti, B. O. E. (2015). *Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- Dhungana, A., Doyle, E., McDonald, G., & Prasanna, R. (2025). Navigating scientific modelling and uncertainty: Insights from Hazard, Risk, and Impact Scientists in Disaster Risk Management (DRM). *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105260>
- Dilley, M. (2005). *Natural disaster hotspots: A global risk analysis*. The World Bank.
- Griggs, G., & Reguero, B. (2021). Coastal adaptation to climate change and sea-level rise. *Water*, 13(16), 2151. <https://doi.org/10.3390/w13162151>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Quadro geográfico de referência para produção, análise e disseminação de estatísticas* (2ª ed.). IBGE.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- Lemos, M. F. R. C. (2024). *Vulnerabilidade do sistema urbano costeiro frente a ameaças relacionadas à mudança climática* [Tese de doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro].
- Marengo, J. A., et al. (2023). Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*, 39, 100545. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100545>
- Melo, A. S. R., Tenório, A. F., & Carneiro, A. F. T. (2021). Adaptação aos impactos das mudanças climáticas na perspectiva do plano diretor da cidade do Recife. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 23, e202140pt. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202140pt>
- Nicolodi, J. L., & Petermann, R. M. (2010). Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista de Gestão Costeira Integrada – Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 10(2), 151–177.
- Pereira, P. de S., Martins, K. A., Neto, A. V., Lino, A. P., Macaíba, M. B., Olinto, A., Fisher, A., Araújo, R. J. V., Schettini, C. A. F., & Araújo, T. C. M. de. (2015). *Atlas de vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas em Pernambuco*. Editora Universitária UFPE. ISBN 978-85-415-0788-2

Purificação, N. R. S. (2020). *Proposta de integração dos cadastros brasileiros ao LADM: Modelagem conceitual e aplicação piloto* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco].

Rocha, J. D. (2023). Adaptação das cidades costeiras brasileiras receptoras de impactos do aquecimento global. In B. Pêgo, L. Nagamine, C. Krüger, & R. Moura (Orgs.), *Fronteiras do Brasil: O litoral em sua dimensão fronteiriça* (Vol. 8, Cap. 12). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. <https://doi.org/10.38116/978-65-5635-067-7/capitulo12>

Unger, E.-M. (2019). Land Administration Domain Model extension for disaster risk management. In *Proceedings of the FIG Working Week 2019*.

Unger, E.-M., Zevenbergen, J., & Bennett, R. (2017). On the need for pro-poor land administration in disaster risk management. *Survey Review*, 49(357), 437–448.

Unger, E.-M., Zevenbergen, J., Lemmen, C., & Bennett, R. (2019). Application of LADM for disaster prone areas and communities. *Land Use Policy*, 80, 118–126.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). *The Sendai framework terminology on disaster risk reduction: Disaster risk management*. <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk-management>

Xavier, J. P. de S., Listo, F. de L. R., Bispo, C. de O., & Santana, J. K. R. de. (2019). Métodos de identificação de risco a deslizamentos de terras associadas al Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), aplicado a la ciudad de Recife. *Revista Ciência & Trópico*, 43(1), 73–86. [https://doi.org/10.33148/CeTropico-v.43,n.1\(2019\)_1833](https://doi.org/10.33148/CeTropico-v.43,n.1(2019)_1833)

BIOGRAFIA DOS AUTORES

Andrea F.T. Carneiro é engenheira cartógrafa, mestre em Ciências Geodésicas e doutora em Engenharia de Produção. Atua como professora titular do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, com atividades de ensino e pesquisa no Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Andreza S.R. Melo é bacharel em geografia, mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, atualmente é graduanda em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura pela Universidade Federal de Pernambuco. Atua no setor público municipal na área de Cadastro e Geoprocessamento.

Nathalia R.S. Purificação é engenheira cartógrafa, mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação e doutoranda em Ciências Cartográficas. Desenvolve pesquisas na área de modelagem de dados espaciais, com ênfase em padrões internacionais como o LADM. Atua em estudos voltados à gestão territorial, cadastro técnico multifinalitário, integração de informações geoespaciais e aplicações Deep Learning na

mobilidade urbana para apoio à tomada de decisão em contextos de planejamento urbano e análise de riscos.

Diogo F. Inojosa é bacharel em geografia, tecnólogo em geoprocessamento e mestrando em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Pesquisa sobre Cadastro Territorial, análises espaciais, planejamento urbano e regional, gestão territorial, modelagem de dados espaciais, banco de dados geográficos e estudos ontológicos de objetos geográficos.

CONTATOS

Andrea F.T. Carneiro

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Engenharia Cartográfica
Recife, PE
BRAZIL
andrea.carneiro@ufpe.br
www.ufpe.br/ppgcgtg

Andreza S. R. Melo

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Engenharia Cartográfica
Recife, PE
BRAZIL
andreza.rodrigues@ufpe.br

Nathalia R.S. Purificação

Universidade Estadual Paulista (Unesp) – Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
Recife, PE
BRAZIL
nathaliarosesilva@gmail.com

Diogo F. Inojosa

Universidade Federal de Pernambuco – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação
Recife, PE
BRAZIL
diogo.finojosa@ufpe.br