

Avaliação de *scanners* de vulnerabilidades de aplicações *Web*

Isadora Garcia Ferrão¹, Felipe Homrich Melchior¹, Guilherme Neri¹,
Rafael Fernandes¹, Diego Kreutz¹

¹Laboratório de Estudos Avançados (LEA)
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

{isadoraferrao9, fehmel, guibnsa, faelsfernandes}@gmail.com,
diegokreutz@unipampa.edu.br

Abstract. *Vulnerable web systems jeopardize the security of servers and computing infrastructures. Compromised machines are often used to attack other systems. The goal of this work is to evaluate traditional vulnerability scanners and software-as-a-service (SaaS) in a controlled environment with the ten most frequent vulnerabilities in web systems. The results indicate that SaaS scanners detect more vulnerabilities than traditional ones. Surprisingly, the results also show that most tools do not detect vulnerabilities that should be detected according to the available documentation.*

Resumo. *Sistemas Web vulneráveis colocam em risco a segurança de servidores e infraestruturas de computação. Máquinas comprometidas são recorrentemente utilizadas para atacar outros sistemas. O objetivo deste trabalho é avaliar scanners de vulnerabilidades tradicionais e softwares como serviço (SaaS) em um ambiente controlado contendo as dez vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas Web. Os resultados indicam que os scanners SaaS detectam mais vulnerabilidades que os tradicionais. Surpreendentemente, os resultados também mostram que maioria das ferramentas não detecta vulnerabilidades que deveriam detectar segundo a documentação disponível.*

1. Introdução

Estudos empíricos mostram que, em alguns países, a porcentagem de aplicações *Web* vulneráveis é alta, podendo ficar próximo a casa dos 70% [Alam et al. 2015]. Um dos fatores que tem levado a este preocupante cenário é o acesso a informação por parte dos atacantes. Por exemplo, é interessante observar que postagens de segurança, cada vez mais frequentes, apresentam técnicas e passo-a-passos de como comprometer dezenas de servidores *Web* em poucos minutos [Konstantopoulos 2017].

Servidores *Web* comprometidos tem sido recorrentemente utilizados em diferentes tipos de ataques, como negação de serviço (DoS) a outros sistemas da rede interna ou externa [Goodin 2018, Cid 2014]. De fato, estatísticas online mostram que milhares de servidores *Web* comprometidos tem sido utilizados em ataques de distribuição de negação de serviço (DDoS) contra redes e serviços online. Como exemplo prático, nos últimos anos, a UNIPAMPA foi alvo de ataques cujo objetivo foi comprometer sistemas *Web* e utilizar os respectivos servidores em ataques a outras redes e sistemas, como foi o caso de um ataque de DoS contra a rede do gabinete da presidência da república. Um outro exemplo de ataque resultante do comprometimento de servidores *Web* é a quebra de

confidencialidade dos dados de usuários. Pesquisas recentes mostram que ainda é um desafio garantir a segurança (e.g. confidencialidade dos dados) de aplicações cliente-servidor contra servidores comprometidos e ativamente maliciosos [Grubbs et al. 2016]. Estes exemplos deixam claro a importância de investigar constantemente as vulnerabilidades de sistemas *Web* a fim de evitar subsequentes incidentes de segurança em rede locais e externas.

Em uma pesquisa recente, foram estudados e analisados os dez principais *scanners* de vulnerabilidades gratuitos [Ferraio and Kreutz 2017]. Como ambiente de avaliação, os pesquisadores utilizaram uma máquina virtual da OWASP conhecida como BWA. Os resultados da pesquisa destacaram a eficácia, em termos de número de vulnerabilidades detectadas, dos *scanners* Zed Attack Proxy e Paros Proxy.

O maior desafio do trabalho [Ferraio and Kreutz 2017] foi comparar os *scanners* de vulnerabilidades em pé de igualdade levando em conta um cenário com um número muito grande de vulnerabilidades desconhecidas. Isto por que a máquina virtual BWA contém um ambiente complexo, composto por dezenas de aplicações vulneráveis, criado especificamente para a formação de especialistas em segurança de sistemas. Na prática, é inviável tentar enumerar as vulnerabilidades existentes nas centenas de milhares de linhas de código (em diferentes linguagens de programação) das aplicações *Web* da BWA.

Adotando uma abordagem diferente e complementar, neste trabalho é proposto um ambiente controlado, onde são implementadas as dez vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas *Web* segundo a classificação tri-anual da OWASP de 2017 [OWASP 2017]. O ambiente controlado, além de criar um cenário conhecido para a avaliação das ferramentas, algo utilizado na prática por trabalhos similares [Bau et al. 2010, Doupé et al. 2012], torna possível investigar outras coisas, como falsos positivos.

Em resumo, o objetivo deste trabalho é avaliar as principais ferramentas de varredura de vulnerabilidades tradicionais, gratuitas, e os *scanners* disponíveis no mercado como *software-as-a-service* (*SaaS*), utilizando um cenário controlado, dando um passo além (em relação a trabalhos existentes na literatura) na investigação da eficácia dessas ferramentas. As principais contribuições podem ser resumidas em: (i) criação do ambiente controlado (uma máquina virtual Linux contendo a implementação das 10 vulnerabilidades mais recorrentes na *Web*); (ii) execução e avaliação das 10 principais ferramentas gratuitas de varredura de vulnerabilidades; (iii) execução e avaliação de 5 dos *scanners SaaS* de vulnerabilidades mais populares do mercado; (iv) comparação de eficácia de cobertura entre *scanners* tradicionais e *SaaS*; (v) identificação de falhas de cobertura (vulnerabilidades críticas não detectadas) nos resultados dos *scanners*; e (vi) identificação de inconsistências entre os manuais das ferramentas e os resultados na prática.

O restante do trabalho está organizado como segue. A Seção 3 detalha as etapas de desenvolvimento do trabalho. Os resultados são discutidos na Seção 4. As Seções 5 e 2 são dedicadas a uma discussão e trabalhos relacionados, respectivamente. Por fim, na Seção 6 são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Trabalho Relacionados

Existem diferentes estudos que analisam e/ou comparam *scanners* de vulnerabilidades dos mais variados tipos [Gupta and Gupta 2015, Antunes and Vieira 2015,

Makino and Klyuev 2015, Ferrao and Kreutz 2017, Doupé et al. 2012, Rocha et al. 2012, Bau et al. 2010]. Entretanto, a maioria destas pesquisas analisa ferramentas comerciais, ou um sub-conjunto muito limitado de ferramentas gratuitas (exemplo: apenas duas), ou são consideravelmente desatualizadas, ou investigam ferramentas específicas que detectam um único tipo ou pequenos sub-grupos de vulnerabilidades. Em resumo, não há estudos recentes, mais abrangentes, que cobrem um número maior de ferramentas livres e abertas. Além disso, a literatura existente deixa a desejar no que tange aos *scanners SaaS*.

O tipo de testes mais aplicado para *scanners* de vulnerabilidades é o *black-box* [Makino and Klyuev 2015, Rocha et al. 2012, Bau et al. 2010], também utilizado neste trabalho. Os testes *black-box* são realizados de forma automatizada e sem acesso direto a detalhes de infraestrutura e codificação do sistema alvo. Para avaliar os *scanners*, os estudos utilizam essencialmente um de três tipos de ambientes, OWASP BWA [Makino and Klyuev 2015, Ferrao and Kreutz 2017], sites oficiais de instituições governamentais e/ou privadas [Bau et al. 2010, Rocha et al. 2012] e cenários controlados [Rocha et al. 2012, Bau et al. 2010]. A maioria dos trabalhos utiliza um cenário controlado por que ele, como o próprio nome sugere, permite uma análise mais minuciosa e precisa dos *scanners* de vulnerabilidades. Além disso, os cenários controlados tornam mais prático e efetiva a detecção de falsos-positivos, ou seja, identificar o que é detectado como vulnerabilidade pelo *scanner* mas na verdade não oferece perigo.

Os trabalhos similares que utilizam ambientes controlados seguem uma metodologia similar à deste trabalho. Tudo inicia com a escolha das vulnerabilidades a serem implementadas, seguido da definição do ambiente de testes e análises manuais das vulnerabilidades implementadas e dos relatórios de saída dos *scanners* [Fonseca et al. 2014]. Porém, a grande maioria dos trabalhos foca nas falhas de injeção de código e *cross-site scripting*. Este trabalho implementa e avalia também mais oito falhas da lista das dez mais recorrentes em sistemas *Web* segundo a OWASP [OWASP 2017].

Finalmente, cabe destacar algumas das questões que os pesquisadores frequentemente procuram responder em estudos de ferramentas de varredura de vulnerabilidades. (1) Qual a cobertura dos *scanners* de vulnerabilidades quando usados na prática em sistemas *Web*?, (2) Qual a taxa de falsos-positivos?, (3) Quais são os tipos mais comuns de vulnerabilidades em ambientes *Web*? e (4) Quais vulnerabilidades são as mais detectadas pelas ferramentas? Neste trabalho são respondidas estas questões para dois grupos de *scanners* de vulnerabilidades disponíveis no mercado e utilizados na prática, ferramentas tradicionais gratuitas e abertas e *scanners SaaS*. Para responder às questões, foi implementado e utilizado um ambiente controlado, como detalhado na Seção 3.

3. Desenvolvimento

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em cinco etapas bem definidas. A **primeira etapa** consistiu na escolha, instalação e estudo das ferramentas de varredura de vulnerabilidades, que foram separadas em dois grupos, os *scanners* tradicionais e os *SaaS*. No primeiro grupo, seguindo a mesma linha do trabalho anterior [Ferrao and Kreutz 2017], foram escolhidos os *scanners* Andiparos, Nessus, Raproxy, Uniscan, Wapiti, Grabber, Paros Proxy, Skipfish, Vega e Zed Attack proxy. Os critérios de escolha destas ferramentas são apresentados em [Ferrao and Kreutz 2017]. Para formar o segundo grupo, foram selecionados os *scanners SaaS* Acunetix, Detectify, Qualys, Tinfoil e ScanMyServer. A

seleção foi realizada através de buscas nos sites do OWASP, da Geek Flare e na máquina de busca da Google. Num primeiro momento, foram selecionados os 10 *scanners* que estavam entre os melhores nos respectivos rankings dos sites. Como o segundo critério de seleção foi a disponibilidade de uma versão completa do *scanner* para testes, a lista ficou reduzida aos 5 *scanners SaaS* mencionados anteriormente.

A seleção das vulnerabilidades a serem implementadas e analisadas no cenário controlado foi realizada na **segunda etapa** da pesquisa. O parâmetro de seleção das vulnerabilidades foi o índice de recorrência ao longo do tempo. Segundo a OWASP, organização internacional que monitora vulnerabilidades em sistemas *Web*, as mais recorrentes, conforme a classificação tri-anual de 2017, são falhas pertencentes às seguintes categorias: (1) injeção de código, (2) quebra de autenticação e gerenciamento de sessão, (3) *cross-site scripting* (XSS), (4) quebra de controle de acesso, (5) má configuração de segurança, (6) exposição de dados sensíveis, (7) falta de proteção contra ataques, (8) *cross-site request forgery* (CSRF), (9) uso de componentes com vulnerabilidades conhecidas e (10) APIs desprotegidas.

A **terceira etapa** foi constituída pelo projeto e implementação de um cenário controlado contendo uma vulnerabilidade catalogada em cada uma das 10 categorias relacionadas na etapa anterior. O cenário controlado foi criado a partir da distribuição Kali Linux 4.9.0, servidor MySQL 5.7, PHP 7.0 e servidor *Web* Apache 2.4.18. Na sequência, na **quarta etapa** foram executados os *scanners* de vulnerabilidades sobre o ambiente controlado. O tipo mais comum de testes para sistemas *Web*, empregado na prática pela maioria dos atacantes, é o *black-box*, também utilizado neste trabalho.

Finalmente, na **quinta etapa** foram analisados os relatórios gerados pelos *scanners* na etapa anterior. Cada ferramenta gera um relatório de saída específico, num formato próprio, contendo as especificações das vulnerabilidades encontradas, como informações básicas sobre as falhas, o nível de criticidade e outras informações como formas de exploração, como corrigir e onde encontrar as vulnerabilidades. Mais detalhes sobre as etapas e uma descrição do cenário controlado, incluindo detalhes de exploração de algumas das vulnerabilidades implementadas, podem ser encontrados em [Ferrao et al. 2018].

4. Resultados

A Tabela 1 sumariza os principais resultados obtidos com os testes *black-box* no cenário controlado. Os 10 *scanners* tradicionais são identificados como: [T1] Andiparos, [T2] Nessus, [T3] Raproxy, [T4] Uniscan, [T5] Wapiti, [T6] Grabber, [T7] Paros Proxy, [T8] Skipfish, [T9] Vega e [T10] Zed Attack proxy. Já os 5 *scanners SaaS* estão identificados por [S1] Acunetix, [S2] Detectify, [S3] Qualys, [S4] Tinfoil e [S5] ScanMyServer.

O conjunto dos 15 *scanners* conseguiu detectar apenas 80% das 10 categorias mais recorrentes de vulnerabilidades em sistemas *Web*. Ainda mais surpreendente é o fato de as ferramentas tradicionais terem detectado somente 50% das vulnerabilidades. Apesar de os *scanners SaaS* atingirem um índice de detecção maior, chegando a detectar 70% das vulnerabilidades, os resultados são igualmente preocupantes. Pode-se afirmar que estes números corroboram com resultados de pesquisa anteriores, que indicam a dificuldade na escolha das ferramentas mais adequadas e eficazes e falhas de cobertura dos *scanners* tradicionais [Antunes and Vieira 2015, Makino and Klyuev 2015, Ferrao and Kreutz 2017].

Tabela 1. Vulnerabilidades detectadas no cenário controlado

Vulnerabilidade	<i>scanners</i> tradicionais	<i>scanners SaaS</i>
Injeção de Código	[T4, T8]	[S1, S2, S4, S5]
Quebra de autenticação e gerenciamento de sessão	[]	[S4]
<i>Cross-site scripting</i>	[T1,T2,T6,T8,T9,T10]	[S1, S5]
Quebra de controle de acesso	[]	[]
Má configuração de segurança	[T1,T4,T7,T8,T9,T10]	[S1, S2, S3, S4, S5]
Exposição de dados sensíveis	[T1, T2, T8, T9, T10]	[S1, S2, S3]
Falta de proteção contra ataques	[]	[S1, S2, S5]
<i>Cross-site requesty forgery (CSRF)</i>	[]	[S2, S4]
Componentes com vulnerabilidades conhecidas	[T2]	[]
APIs desprotegidas	[]	[]

Nenhum dos *scanners* detectou quebra de controle de acesso e APIs desprotegidas. A falha de APIs desprotegidas é uma das mais recentes a entrar no ranking das vulnerabilidades mais recorrentes da OWASP. Esta é uma das principais razões pela qual os *scanners* falham na detecção, ou seja, as ferramentas de varredura ainda não oferecem plugins ou recursos para detectar APIs desprotegidas. As vulnerabilidades em APIs desprotegidas podem facilitar o acesso e a manipulação não autorizada de dados sensíveis, possibilitar a desconfiguração de páginas do site ou até mesmo permitir ao atacante comprometer o sistema. No cenário controlado, as chaves da API Javascript do Google Maps foram incorporadas diretamente no código, ou seja, elas são expostas ao público. Para corrigir esta falha a chave de API deveria ter sido armazenada em variáveis de ambiente ou em arquivos fora da árvore de origem do sistema.

A vulnerabilidade de quebra de controle de acesso concede ao atacante acesso a dados restritos. No cenário controlado implementado, não é verificado da maneira correta se o usuário está (ou não) autenticado no sistema. Logo, a vulnerabilidade permite ao atacante utilizar um *script* de força bruta para conseguir acesso ao sistema. Para quebrar o controle do acesso, basta descobrir o nome de um usuário válido. A prevenção contra esta falha requer uma verificação dos acessos ao sistema. Para cada painel do sistema, deve-se incluir uma verificação de controle de acesso para garantir que o usuário esteja autorizado a ter acesso ao recurso solicitado.

Os *scanners* [T3] Ratproxy e [T5] Wapiti não detectaram nenhuma vulnerabilidade apesar de assegurarem detectar vulnerabilidades como *cross-site scripting* e *SQL injection*. Isto significa que não é possível confiar-se na documentação, conforme é constatado em uma análise mais detalhada, apresentada no resumo disponível na Tabela 2.

No caso do primeiro grupo, o Skipfish detectou 80% das categorias de vulnerabilidades identificadas pelas ferramentas tradicionais. Em segundo lugar, o Nessus detectou 60% das vulnerabilidades. Estranhamente, em uma pesquisa recente, utilizando o ambiente não controlado da BWA, os *scanners* que se destacaram foram o Zed Attack Proxy e Paros Proxy [Ferrao and Kreutz 2017]. Isto nos leva a concluir que o cenário atual é mais complicado e crítico do que o imaginado, ou seja, a escolha dos *scanners* depende, também, do cenário em questão. De fato, observando o estado da arte, como pergunta de pesquisa, para investigação futura, podem ser listadas perguntas como: *Qual(is) scanner*

(s) de vulnerabilidades é(são) mais eficaz(es) para um determinado contexto?

Vale ressaltar que o Nessus foi o único *scanner* a detectar a vulnerabilidade de componentes com vulnerabilidades conhecidas. Este *scanner* possui mais de 2.600 plugins para detectar vulnerabilidades conhecidas em aplicativos da *Web*. Esses plugins são escritos para enumerar e detectar vulnerabilidades que foram publicamente relatadas em algum produto da *Web*, seja ele de código aberto ou comercial. No cenário controlado implementado neste trabalho, foi utilizado o XAMPP 2.4.27, cuja versão possui vulnerabilidades de injeção de código, permitindo aos atacantes executarem comandos SQL arbitrários através de vetores em *scripts* de testes. Diferentemente dos outros *scanners*, o Nessus possui um plugin que permite a detecção desta vulnerabilidade.

No grupo dos *scanners SaaS*, pode-se observar que as categorias com maior nível de cobertura são injeção de código e má configuração de segurança. Além disso, a maior eficácia ficou com o Detectify e o Acunetix. Ambos os *scanners* detectaram 50% das categorias de vulnerabilidades. Entretanto, enquanto que o Detectify detectou apenas 40% das falhas críticas existentes no ambiente controlado, o Acunetix detectou 60%. Em resumo, pode-se dizer que este último é mais eficaz (em ambientes *Web* similares ao utilizado neste trabalho) uma vez que detecta uma maior porcentagem de vulnerabilidades críticas, que podem facilmente levar a incidentes de segurança graves.

A Tabela 2 relaciona as vulnerabilidades e os *scanners* que prometem detectá-las, mas, de fato, não as detectam. Para realizar esta análise, foram atentamente analisados os manuais e a documentação técnica das ferramentas. Surpreendentemente, várias ferramentas não detectaram algumas das vulnerabilidades que deveriam detectar segundo a sua própria documentação. Vale ressaltar que foram utilizadas as formas mais básicas de implementação das vulnerabilidades *Web* no cenário controlado.

Tabela 2. Falhas na detecção de vulnerabilidades.

Vulnerabilidades	<i>scanners</i> que falharam em detectar
Injeção de Código	[T1,T3,T5,T6,T7,T9]
<i>Cross-site scripting</i>	[T3,T4,T5,T7]
Quebra de controle de acesso	[T8]
Má configuração de segurança	[T2,T3,T5,T6]

Como pode ainda ser observado na tabela, não há nenhum *scanner SaaS* na relação. Isto deve-se ao fato de serem serviços online e/ou comerciais e não relacionarem em sua documentação pública as vulnerabilidades que eles se propõem a detectar.

Um dos casos investigados, em um nível técnico mais granular, foi o *scanner* [T6] Grabber, cuja documentação assegura detectar *SQL injection*. O *scanner* possui interface por linha de comando e foi desenvolvido na linguagem Python. Para a vulnerabilidade de *SQL injection*, ele possui uma lista com alguns casos de teste de injeção de código. Esta lista é denominada `sqlAttacks`. Porém, o caso implementado no ambiente controlado, que é um dos ataques SQL mais simples e comuns (exemplo: “’ OR 1=1; #”), não consta na lista de testes da ferramenta. Além disso, a quantidade de testes de injeção SQL do Grabber é muito limitada, restringindo-se a apenas 7 testes distintos.

Alguns *scanners* detectaram vulnerabilidades específicas, que são falsos-

positivos, como *File inclusion* [T8, T10], *Signature match detected* [T8], *Incorrect caching directives* [T8] e *File upload form* [T8]. A identificação dos falsos-positivos foi realizada através da verificação dos relatórios de saída de cada ferramenta e consequente análise manual da suposta vulnerabilidade relatada pelo *scanner*.

No grupo das ferramentas tradicionais, o Skipfish foi responsável por reportar a maior quantidade de falsos-positivos. Ironicamente, o Skipfish é, também, o *scanner* que mais detectou vulnerabilidades no ambiente controlado. Já no segundo grupo, houve apenas um único caso de falso-positivo, a vulnerabilidade *Trace Method is Enabled* [S1, S5]. Como os falsos-positivos representam trabalho de verificação manual, das supostas falhas dos sistemas, fica evidente que ainda há espaço para investigação e desenvolvimento.

Os resultados apresentados apontam para um cenário preocupante no ecossistema *Web*. Pelos resultados anteriores (utilizado o ambiente BWA [Ferraio and Kreutz 2017]) e os deste trabalho, pode-se concluir que todos os *scanners* de vulnerabilidades precisam claramente melhorar em termos de eficácia de detecção de vulnerabilidades. Isto fica ainda mais evidente na Tabela 2, onde são relacionadas as vulnerabilidades que os *scanners* prometem detectar, mas, de fato, não detectam ou detectam de forma muito limitada (exemplo: em casos muito específicos de ocorrência da vulnerabilidade). Em outras palavras, o usuário não pode nem mesmo confiar na documentação técnica dos *scanners*.

5. Discussão

Se um scanner S1 detecta a vulnerabilidade V1 (e.g. XSS) no ambiente controlado A1, isto significa que ele irá detectar a mesma vulnerabilidade, implementada da mesma forma, em um outro ambiente A2 qualquer? A resposta curta é *não necessariamente*. A detecção vai depender de diferentes fatores, como os mecanismos de segurança empregados no ambiente A2. Por exemplo, suponhamos que no cenário A2 o sistema seja implementado com a linguagem PHP, mas sem a utilização de recursos extras como APIs ou frameworks. Já no ambiente A2, o sistema *Web*, contendo também a vulnerabilidade V1, foi codificado utilizando um *framework* F1 (e.g. Codeigniter). Neste caso, se o método `xss_clean` (método utilizado para mitigar ataques XSS) do *framework* F1 estiver habilitado, o *scanner* S1 dificilmente conseguirá detectar a vulnerabilidade V1 no cenário A2.

Se um scanner S2 detecta a vulnerabilidade V2 (e.g. SQL Injection) no sistema Web W1, então ele irão detectar esta mesma vulnerabilidade presente em um outro sistema Web W2 qualquer? Novamente, a resposta curta é *não necessariamente*. Uma vulnerabilidade V2, *SQL Injection*, possui várias assinaturas (ou casos de teste). Portanto, o *scanner* S2 vai detectar V2 em um outro sistema *Web* W2 somente se ele estiver programado para reconhecer todas as assinaturas de V2, ou, neste caso, as assinaturas de V2 presentes em W1 e W2. Na prática, algumas ferramentas, como o *scanner* Grabber, detectam apenas um sub-conjunto das assinaturas de SQL injection. Como consequência, ele pode detectar a vulnerabilidade em W1 mas não em W2, por exemplo.

6. Considerações Finais

A avaliação da eficácia de diferentes *scanners* de vulnerabilidades reforça a necessidade de se utilizar múltiplas ferramentas para encontrar e corrigir defeitos em sistemas *Web*. Além disso, surpreendentemente, os *scanners* tradicionais detectaram apenas 50% das 10 vulnerabilidades mais recorrentes em sistemas *Web*. Já os *scanners SaaS* foram um pouco

mais eficazes, detectando 70% das vulnerabilidades. Entretanto, de uma maneira geral, estes resultados indicam que os *scanners* investigados, tanto tradicionais quanto *SaaS*, ainda carecem de pesquisa e desenvolvimento.

Outro resultado surpreendente da pesquisa é o fato de alguns *scanners* não detectarem algumas das vulnerabilidades que deveriam detectar segundo seus respectivos manuais e documentação técnica. A exemplo, *SQL injection*, que é uma das vulnerabilidades mais frequentes e recorrentes em sistemas *Web*, foi a vulnerabilidade onde os *scanners* mais falharam em detectar. Vale ressaltar que uma versão estendida do trabalho está disponível em [Ferraio et al. 2018].

Referências

- Alam, D., Kabir, M. A., Bhuiyan, T., and Farah, T. (2015). A case study of sql injection vulnerabilities assessment of .bd domain web applications. In *Fourth International CyberSec*, pages 73–77.
- Antunes, N. and Vieira, M. (2015). Assessing and comparing vulnerability detection tools for web services: Benchmarking approach and examples. *IEEE Transactions on Services Computing*, 8(2):269–283.
- Bau, J., Bursztein, E., Gupta, D., and Mitchell, J. (2010). State of the art: Automated black-box web application vulnerability testing. In *IEEE SSP*.
- Cid, D. (2014). Anatomy of 2,000 compromised web servers used in ddos attack. <https://goo.gl/FNSdQt>.
- Doupé, A., Cavedon, L., Kruegel, C., and Vigna, G. (2012). Enemy of the state: A state-aware black-box web vulnerability scanner. In *USENIX Security Symposium*.
- Ferraio, I. G. and Kreutz, D. (2017). Segurança na web: análise black-box de scanners de vulnerabilidades. In *Anais da 1a Escola Regional de Engenharia de Software (ERES)*, pages 135–142. <https://goo.gl/NENkt8>.
- Ferraio, I. G., Melchior, F. H., Neri, G., Fernandes, R., and Kreutz, D. (2018). Avaliação de scanners de vulnerabilidades de aplicações web. <https://goo.gl/7wZ17x>.
- Fonseca, J., Seixas, N., Vieira, M., and Madeira, H. (2014). Analysis of field data on web security vulnerabilities. *IEEE TDSC*, 11(2):89–100.
- Goodin, D. (2018). Drupalgeddon2 touches off arms race to mass-exploit powerful web servers. <https://goo.gl/vVJhYq>.
- Grubbs, P., McPherson, R., Naveed, M., Ristenpart, T., and Shmatikov, V. (2016). Breaching web applications built on top of encrypted data. In *ACM CCS*, pages 1353–1364.
- Gupta, S. and Gupta, B. B. (2015). Php-sensor: A prototype method to discover workflow violation and xss vulnerabilities in php web applications. In *ACM International Conference on Computing Frontiers*, CF ’15, pages 59:1–59:8. ACM.
- Konstantopoulos, G. (2017). How i hacked 40 websites in 7 minutes. <https://goo.gl/wZ79mv>.
- Makino, Y. and Klyuev, V. (2015). Evaluation of web vulnerability scanners. In *IEEE 8th IDAACS*.
- OWASP (2017). Top ten 2017 project. <https://goo.gl/snkFmd>.
- Rocha, D., Kreutz, D., and Turchetti, R. (2012). A free and extensible tool to detect vulnerabilities in web systems. In *7th Iberian CISTI*.